

Schlussbericht vom 15. November 2002

Potential- und Standortabklärungen für ein Windenergieprojekt auf dem Grimselpass

Oberwald VS

ausgearbeitet durch

Dr. Christoph Kapp, Peter Schwer und Renzo Brenni
NEK UMWELTTECHNIK AG
Clausiusstrasse 41
8033 Zürich



ZUSAMMENFASSUNG

Ziel dieses Projektes war es, fundiert abzuklären, inwiefern sich der vorgesehene Standort Grimsel zur Errichtung von Windkraftanlagen eignet. Dazu wurden standortbezogene Windmessungen und ein computergestütztes Windmodelling durchgeführt sowie möglichst viele der notwendigen Rahmenparameter im Zusammenhang mit der möglichen Errichtung von Windenergieanlagen auf dem Grimselpass geklärt. Die Windmessungen wurden mit einem 30 m hohen Messmast im Dezember 2000 aufgenommen. In diesem Schlussbericht sind die Resultate der Messungen von Dezember 2000 bis Juni 2002 berücksichtigt.

Die durchgeführten Untersuchungen und Abklärungen haben gezeigt, dass die Windverhältnisse am Standort des Messmastes auf dem Grimselpass die Erwartungen nicht erfüllt hatten. Allerdings musste der Mast an einem windmässig nicht optimalen Standort gestellt werden. Auf einer Höhe von 50 m über Boden kann am Messstandort mit einer langjährigen, mittleren Windgeschwindigkeit von ca. 4.8 m/sec gerechnet werden. Das Windmodell zeigt jedoch, dass an den zur Nutzung vorgesehenen Standorten bessere Windverhältnisse herrschen: Man kann dort auf einer Höhe von 50 m über Grund mit mittleren jährlichen Windgeschwindigkeiten von ca. 5.5 m/sec rechnen.

Parallel zu den Messungen wurden mit den zuständigen Behörden und Gremien Diskussionen und Besprechungen im Zusammenhang mit den wesentlichen Punkten abgehalten, welche für die Umsetzung eines solchen Windenergieprojektes auf dem Grimselpass massgeblich sind. Es ist vorgesehen, die entsprechenden Verhandlungen weiter zu führen und im kommenden Sommer direkt an den Anlagenstandorten noch Ergänzungsmessungen durchzuführen, um damit das Windmodell zu validieren.

Der im Zusammenhang mit dem durch das Bundesamt für Energie erteilte Auftrag ist mit der Ablieferung dieses Schlussberichtes beendet.



ABSTRACT

The aim of this project was to check carefully, whether the chosen site on the Grimsel Pass in Switzerland is suitable for the installation of wind turbines. For that reason, we have started in the end of 2000 with comprehensive wind and climate measurements and used the results to carry out a wind resource assessment. Beside that, all the other points and parameters were checked that are necessary for getting a building permission for a wind energy project at the chosen site. After the installation of a 30 m high measuring mast, we started data collection back in December 2000. This report includes the results of the measurements from Dec. 2000 until June 2002.

The evaluation and examinations show that the wind conditions at Grimselpass don't fulfil the former expectations. However the mast had to be installed at a site, which does not have optimal wind conditions. At a height of 50 m above ground an average wind speed of around 4.8 m/s can be expected at the measurement site. Although the wind modelling indicates that at those sites, which could be used for wind turbine installations, better wind conditions prevail. There average yearly wind speeds of 5.5 m/s can be reached in a height of 50 m.

Parallel to the measurements we discussed with responsible administrations and institutions the crucial points of the realization of a wind energy project at Grimselpass. It is planned to continue with the administrative procedure and to measure wind speeds directly at the designated turbine sites next summer to validate the wind model.

With delivering this final report to the Bundesamt für Energie our task is fulfilled.



RÉSUMÉ

Le but de ce projet était d'examiner en manière approfondie, si le site choisi sur le col du Grimsel en Suisse convient à l'installation des turbines de vent. Pour cette raison, nous avons commencé à la fin de 2000 avec des mesures complètes du vent et avons employé les résultats pour effectuer une évaluation des ressources de vent. À côté, on a contrôlé tous les autres points et paramètres qui sont nécessaires pour atteindre une permission de bâtiment pour un projet d'énergie éolienne sur le site choisi. Après l'installation d'une station de mesure de 30 m d'hauteur, nous avons commencer à recueillir de données en décembre 2000. Les résultats des mesures à partir du décembre 2000 jusqu'à juin 2002 sont inclus dans ce rapport.

Les évaluations et les examens prouvent que les conditions du vent sur le col du Grimsel ne satisfont pas les attentes. Toutefois la station de mesure à dû être installé dans un site, qui ne dispose pas des conditions de vent optimaux. À une hauteur de 50 m au-dessus du sol une vitesse de vent moyenne d'environ 4.8 m/s peut être prévue au site de mesure. Bien que le modèle du vent indique qu'aux sites consacrés pour l'installation de turbine de vent, de meilleures conditions de vent règnent. Là-bas peuvent être atteintes des vitesses du vent annuelles moyennes de 5.5 m/s à la hauteur de 50 m.

Simultanément aux mesures effectuées nous avons discuté avec les services administratifs compétents les points cruciaux pour la réalisation d'un projet d'énergie éolienne sur le Grimselpass. Il est prévu de continuer la procédure administrative et l'été prochain d'effectuer des mesures du vent supplémentaires directement aux sites indiqués pour l'installation des turbines de vent dans l'intention de valider le modèle du vent.

Avec la livraison de ce rapport final au Office fédéral de l'énergie notre tâche est accomplie.



AUFTRAGGEBER: Bundesamt für Energie BFE, 3003 Bern

**PROJEKTUNTER-
STÜTZUNG:** NewEn New Energy Projects GmbH,
Cuxhavener Strasse 10 A, 28217 Bremen

PROJEKT: Entwicklung eines Windenergieprojektes am Standort
Grimselpass, Oberwald (VS), Schweiz

KOSTENANGEBOT: 11. September 2000

VERTRAG: 21. September 2000

AUFTRAG:

- Abklärung des Windpotentials auf dem Projektgelände
- Durchführung von Windmessungen
- Behördenabklärungen im Zusammenhang mit der Realisierung eines Windenergieprojektes am angedachten Standort
- Windmodelling am vorgesehenen Standort
- Erarbeitung von Vorprojektgrundlagen



AUSGEFÜHRTE ARBEITEN:

- Installation der erforderlichen Messeinrichtungen auf dem Grundstück (1 Messmast à 30 m)
- Aufnahme des Messbetriebes auf dem Grimselpass am 02. Dezember 2000
- Permanente Registrierung der Messdaten sowie deren regelmässige Auslesung ab Messbeginn
- Periodische Auswertung der Messdaten
- Abklärungen mit den Behörden
- Ausarbeitung des ersten Zwischenberichts vom 30. September 2001
- Ausarbeitung des hier vorliegenden Schlussberichtes vom 15. November 2002

BEILAGEN:

- Karte des Projektgebietes
WindPro-Auswertungen des 30-m-Messmastes
Windstatistiken
Windressourcen-Karte des Gebietes
Kurzbeschrieb Vorprojekt

VERTEILER:

- | | |
|-----------------------------|-------------|
| Bundesamt für Energie (BFE) | 3 Exemplare |
| NEK Umwelttechnik AG | 2 Exemplare |



INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. EINLEITUNG	14
2. AUSGEFÜHRTE ARBEITEN	15
3. MESSRESULTATE	16
3.1 MESSANORDNUNG	16
3.2 MESSKONFIGURATION	17
3.3 MESSTANDORTE UND MESSPERIODE	18
4. MESSDATEN	19
4.1 DATENVERFÜGBARKEIT	19
4.2 DATENLÜCKEN	19
5. DATENVERVOLLSTÄNDIGUNG	24
5.1 ABWEICHUNGEN DER ANEMOMETER	24
5.2 DATENLÜCKEN SCHLIESSEN	27
5.3 VERFAHREN ZUR DATENAUSWAHL FÜR JEDES MESSNIVEAU	28
6. DATENSÄTZE MESSSTATION GRIMSEL	29
6.1 BEREINIGTER DATENSATZ	29
6.2 VOLLSTÄNDIGER DATENSATZ	31
6.3 LANGJÄHRIGER DATENSATZ	32
7. AUSWERTUNG	33
7.1 RESULTATE DER MESSUNGEN	33
7.1.1 Messresultate Messstation Grimsel	34
7.2 TURBULENZANALYSE	41
7.3 DICHTEANALYSE	44

7.4	ABSCHÄTZUNG DES WINDPOTENTIALS AUF NABENHÖHEN	46
7.4.1	Vorgehen zur Berechnung des Windpotentials auf Nabenhöhen	46
7.4.2	Das Windpotential auf Nabenhöhe	48
8.	DISKUSSION DER RESULTATE	50
8.1	EXTRAPOLATION AUF NABENHÖHEN	50
8.2	ABSCHÄTZUNG DES LANGJÄHRIGEN WINDPOTENTIALS	51
9.	FEHLERABSCHÄTZUNG	54
9.1	ZUSAMMENFASSUNG	54
9.2	NACHEICHUNG	55
9.3	RECHENFEHLER	57
9.4	FEHLER DER BEREINIGTEN DATEN	57
9.4.1	Fehler durch individuelle Anemometer-Unterschiede	57
9.4.2	Fehler durch Installation	57
9.4.3	Gesamter Fehler der bereinigten Daten	58
9.5	FEHLER DER VOLLSTÄNDIGEN DATEN	58
9.6	FEHLER VON MONATS- UND JAHRESMITTELWERTEN IN MESSHÖHEN	60
9.7	FEHLER DER EXTRAPOLATION AUF NABENHÖHE	60
9.8	FEHLER DER ABSCHÄTZUNG DES LANGJÄHRIGEN WINDPOTENTIALS	61
9.9	ABWEICHUNGEN ZU ANDEREN MESSKONFIGURATIONEN	61
9.9.1	Abweichung durch Anemometer-Typ	61
9.9.2	Unterschiede Windkanal - Outdoor	62
9.9.3	Windscherung	62
9.9.4	Overspeeding in Turbulenz	63
10.	WASP - MODELLIERUNG	64
10.1	VORGEHEN	64
10.1.1	Kartenmaterial	64
10.1.2	Winddaten	64
10.2	BERECHNUNGEN	65
10.2.1	Methodik	65
10.2.2	Ressourcenkarte	65



10.3	ERGEBNISSE	66
10.3.1	Resultate	66
10.3.2	Ertragsberechnung	66
11.	ANFORDERUNGEN AN DIE EINZUSETZENDEN WKA	67
11.1	GENERELLES	67
11.2	TURBULENZ	67
11.3	BÖENSPITZEN	68
11.4	VEREISUNG	68
11.5	ZUFAHRBARKEIT	68
11.6	BODENBESCHAFFENHEIT	69
12.	AUSBLICK	70
13.	ANHANG	71
13.1	PROJEKTZONE GRIMSEL PASSHÖHE	
13.2	WINDPRO-AUSWERTUNGEN 30 M MESSMAST	
13.3	WINDSTATISTIK	
13.4	WINDPROFIL	
13.5	RESSOURCENKARTE (50 M UND 70 M)	
13.6	WINDPARKBERECHNUNG	
13.7	POTENTIAL- UND STANDORTABKLÄRUNGEN FÜR EIN WINDENERGIEPROJEKT AUF DEM GRIMSELPASS	

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

	Seite
Abb 1. Perimeter Projektgebiet Grimsel und Standort der 30-m-Messstation.	18
Abb 2. Grafische Darstellung der Datenverfügbarkeit über die bisherige Messperiode pro Sensor: IF = NRG Ice Free II, #40 = NRG #40 Max.	22
Abb 3. Gemessener Effekt auf die Windgeschwindigkeit für verschiedene Schräganströmungen (von 15 bis 15 Grad) für den Anemometertyp NRG Ice Free II bei drei verschiedenen Windgeschwindigkeiten (5, 10 und 15 m/s). U ist die horizontale Windgeschwindigkeitskomponente.	25
Abb 4. Korrelation der Messungen des Ice Free II Anemometers mit den Messungen des #40 Max Anemometers auf 10 m. Für Werte ab 3 m/s ist die Gleichung der Regressionsgerade $y = 0.983x + 0.240$ und die Standardabweichung 0.038.	26
Abb 5. Korrelation der Messungen des Ice Free II Anemometers mit den Messungen des #40 Max Anemometers auf 30 m. Für Werte ab 3 m/s ist die Gleichung der Regressionsgerade $y = 0.966x + 0.225$ und die Standardabweichung 0.046.	26
Abb 6. Häufigkeitsverteilung der rekonstruierten Windgeschwindigkeit am Standort Grimsel in 10, 17 und 30 m Höhe. vmed bezeichnet die mittlere Windgeschwindigkeit.	37
Abb 7. Verlauf der Windgeschwindigkeit am Standort Grimsel (gleitender Tagesmittelwert) in 10, 30 und 50 m Höhe.	38
Abb 8. Gleitende Tagesmittelwerte der Temperatur (links).	39
Abb 9. Gleitende Tagesmittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit (rechts).	39
Abb 10. Tagesgang der Windgeschwindigkeit am Standort Grimsel in 30 m Höhe.	40
Abb 11. Windrose am Standort Grimsel in 30 m Höhe.	40
Abb 12. Energierose (Leistungsdichte) für das Jahr 2001 am Standort Grimsel in 30 m Höhe. Unterteilung in eine mögliche Anlauf- und Nennwindgeschwindigkeit von Windkraftanlagen von 6 bzw. 12 m/s.	41
Abb 13. Turbulenzintensität am Standort Grimsel in 30 m Höhe in Funktion der Windgeschwindigkeit. Die Darstellung gilt für die Messperiode ab dem 10. Juli 2001, weil vorher keine Standardabweichungen auf 30 m gemessen wurden.	42
Abb 14. Turbulenzrose am Standort Grimsel in den Höhen 10, 17 und 30 m.	42
Abb 15. Die berechnete Wind-Häufigkeitsverteilung in Nabenhöhe 50 m und 60 m am Standort Grimsel für das Jahr 2001.	49

Abb 16. Mittleres vertikales Windprofil am Standort Grimsel für das Jahr 2001.

50

Abb 17. Verhältnis der #40-Max-Anemometer-Daten mit den korrigierten Ice-Free-II-Daten auf 30 m für (relevante) Geschwindigkeiten von über 3 m/s. Die Standardabweichung beträgt 0.051.

59

Abb 18. Verhältnis der gemessenen (#40-Max-Anemometer) mit den aus den Ice-Free-II-Daten von 10 m extrapolierten Windgeschwindigkeiten auf 30 m für (relevante) Geschwindigkeiten von über 3 m/s. Die Standardabweichung beträgt 0.060.

60



TABELLENVERZEICHNIS

	Seite
Tab 1. Messkonfiguration der Messstation Grimsel.	17
Tab 2. Messperiode Messstation Grimsel.	18
Tab 3. Datenverfügbarkeit pro Messniveau.	19
Tab 4. Vollständige Datenlücken auf der Station Grimsel.	19
Tab 5. Ausfälle der einzelnen Sensoren in Tagen.	21
Tab 6. Datenformat der bereinigten Datei der Station Grimsel.	30
Tab 7. Datenformat des vollständigen Datensatzes der Station Grimsel.	31
Tab 8. Datenformat des langjährigen Datensatzes.	32
Tab 9. Monatliche Mittelwerte und maximale 10-Minuten-Mittelwerte der Windgeschwindigkeit (WG) am Standort Grimsel. Die Datenreihen der Monate September 2001 und Dezember 2001 (Ausfall geheizter Sensor auf 10 m, Tab. 5) sowie der Monate Mai 2002 und Juni 2002 sind nicht vollständig (Stromausfall, Tab. 4).	34
Tab 10. Monatliche 2-Sekunden-Böenspitzen am Standort Grimsel. Die Datenreihen der Monate September 2001 und Dezember 2001 (Ausfall geheizter Sensor auf 10 m, Tab. 5) sowie der Monate Mai 2002 und Juni 2002 sind nicht vollständig (Stromausfall, Tab. 4).	35
Tab 11. Zusammenfassung Standort Grimsel: Mittelwerte, Minima, Maxima und Standardabweichungen der Ergänzungsmessungen (Januar bis Dezember 2001).	36
Tab 12. Analyse der Turbulenzintensität am Standort Grimsel auf 30 m für das Jahr 2001. Die Werte sind in Funktion der Windrichtung und Windgeschwindigkeit angegeben. Die Windrichtungssektoren decken jeweils 30° ab. Die Mittelwerte sind gewichtet mit der Anzahl Werte. Für die Darstellung wurde analog zur Abbildung 13 der ungeheizte Sensor auf 30 m in eisfreien Zeiten verwendet.	43
Tab 13. Berechnete langjährige 1961-1990, Monatswerte der Luftdichte am Standort Grimsel.	45
Tab 14. Die Parameter α mit Mittelwert, Minima, Maxima und Standardabweichung.	47
Tab 15. Die berechnete monatliche Windgeschwindigkeit (WG) und Leistungsdichte (LD) am Standort Grimsel für die Nabenhöhen 50 m und 60 m.	48



Tab 16. Benachbarte Meteostationen der Station Grimsel mit Korrelationen mit den Messungen in 10 m Höhe der Station Grimsel. Korrelation von Monatsmitteln.	51
Tab 17. Verhältnisse der langjährigen Daten 1983 - 1997 (Langj.) und der Messperiode (MP) der Stationen Crap Masgen, Matro und Gütsch.	52
Tab 18. Das langjährige Windpotential am Standort Grimsel (WG = Windgeschwindigkeit).	53
Tab 19. Resultate der Nacheichung der eingesetzten #40-Max-Anemometer.	56
Tab 20. Resultate der Nacheichung der eingesetzten Ice-Free-II-Anemometer.	56



1. EINLEITUNG

Bezüglich der Nutzung der Windenergie nimmt die Schweiz europaweit einen der hintersten Plätze ein: Im Herbst 2002 sind hierzulande lediglich ca. 5 MW an Windleistung installiert, wobei sich diese auf die Projekte Mont Crosin und Gütsch verteilen. Das Windpotential ist hier jedoch deutlich höher, weshalb wir abgeklärt haben, ob sich nicht die Grimselpasshöhe als ein möglicher Standort eignen würde.

Mit Datum vom 21. September 2000 haben wir aufgrund eines Angebotes an das Bundesamt für Energie (BFE) den Auftrag erhalten, das Windpotential auf dem Grimselpass zu untersuchen und zu klären, ob an diesem Standort ein Windenergieprojekt auch wirklich umsetzbar ist. In der Folge wurden mit umfangreichen Messungen, die regionalen Windverhältnisse sowie andere wesentliche Parameter erfasst und ausgewertet. Das Ergebnis der Windmessungen findet sich in diesem Bericht.

Zusätzlich wurden noch andere, für die Errichtung von Windenergieanlagen auf der Grimselpasshöhe relevante Parameter geklärt: So wurde ein kurzes technisches Vorprojekt erarbeitet, auf dessen Basis die weiteren Projektierungsschritte unternommen werden sollen. Gleichzeitig haben wir mit möglichen Lieferanten der Windenergieanlagen die Standorte besichtigt und logistische Fragen im Zusammenhang mit der Installation und dem Betrieb von Windkonvertern geklärt. Auch wurde mit der Gemeinde Oberwald eine Vereinbarung über die mögliche Nutzung der Fläche getroffen.

Im weiteren wurden diverse umweltrelevante Aspekte im Zusammenhang mit der Errichtung von Windmühlen an den vorgesehenen Standorten geklärt. Ob bezüglich der Umweltakzeptanz des Projektes mit Schwierigkeiten zu rechnen sein wird, kann zum heutigen Zeitpunkt noch nicht gesagt werden.

Wir bedanken uns an dieser Stelle für die Beteiligung des BFE an diesem Projekt.



2. AUSGEFÜHRTE ARBEITEN

Neben der Abklärung der zahlreichen Rahmenparameter, welche für die Errichtung eines Windparks auf der Grimselpasshöhe notwendig sind und von uns parallel zu den Messungen laufen, sowie neben den eigentlichen Vorprojektarbeiten stellen die Windmessungen einen massgebenden Projektentwicklungsschritt dar. Der vorliegende Bericht umfasst deshalb schwerpunktmässig lediglich die Resultate der Windmessungen, ohne in grossem Stil auf weitere Aspekte des Windparkprojektes einzugehen. Diese werden in separaten Gutachten erstellt und erläutert. Allerdings findet sich weiter hinten als Beilage ein aktualisierter Vorprojektkurzbeschrieb vom 30. September 2002.

Im Dezember 2000 wurden die punktuellen Windmessungen auf einem 30-m-Mast gestartet. Seit Beginn der Messungen wurden hier die Daten in den jeweiligen Loggern gespeichert und periodisch ausgelesen, gesichert und auf deren Plausibilität überprüft. Dank einer GSM-Übertragung war es zu beinahe jeder Zeit möglich, auf die Daten zuzugreifen. Aufgrund von Vereisungsproblemen im Winter 2000 wurde beschlossen, die Messperiode von den ursprünglich vorgesehenen 12 Monaten auf ungefähr 18 Monate zu verlängern, um eine bessere Datenverfügbarkeit zu erlangen.

Der Standorte des 30-m-Messmastes kann der Abbildung 1 entnommen werden.

Die Windmessungen wurden in Zusammenarbeit mit der Firma Meteotest, Bern, durchgeführt.



3. MESSRESULTATE

3.1 MESSANORDNUNG

Auf dem Grimselpass wurde eine 30 m hohe Messstation errichtet. Diese Referenzstation blieb während der ganzen Messdauer stationär.

Messungen auf der **Referenzstation**:

- Windgeschwindigkeit auf drei Höhen (10, 20 und 30 m über Grund)
- Windrichtung auf 30 m über Grund
- Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit ca. 3 m über Boden

Das Messintervall auf dieser Referenzstation betrug 2 Sekunden. Daraus wurden 10-Minuten-Mittelwerte gebildet und gespeichert. Zusätzlich berechnete und speicherte der Datenlogger die Standardabweichung der Windgeschwindigkeit alle 10 Minuten und die 2-Sekunden-Böenspitze eines jeden 10-Minuten-Intervalls.

3.2 MESSKONFIGURATION

Tabelle 1 spezifiziert den benutzten Datenlogger und die Sensoren und gibt die Seriennummern, Montagehöhen über Grund, Ausrichtung gegen den Mast sowie die vollzogenen Instrumentenwechsel an. Die Angaben entsprechen den vorliegenden Protokollen. Bei der Wartung vom 26.09.2001 wurden Sensoren ausgetauscht und deren Installationshöhen leicht verändert.

Sensor	Typ	Bis 26.09.2001			Nach 26.09.2001		
		Serien- nummer	Höhe [m]	Ausrich- tung	Serien- nummer	Höhe [m]	Ausrich- tung
Anemometer	NRG #40 Max	GR1	10.0	10°	M33	9.9	75
Anemometer	NRG #40 Max	GR2	20.0	10°	C012	19.0	72
Anemometer	NRG #40 Max	GR3	29.0	10°	C003	29.3	64
Anemometer	NRG Ice Free II	III27	9.8	180°	11299	9.9	227
Anemometer	NRG Ice Free II	III28	28.8	180°	11297	29.3	227
Windfahne	NRG Ice Free II	30189	28.5	77°	30189	28.7	67
Temp./ Feuchte	Rotronic	16381004	3.0		16381004	3.0	
Logger: Campbell CR10X							

Tab 1. Messkonfiguration der Messstation Grimsel.

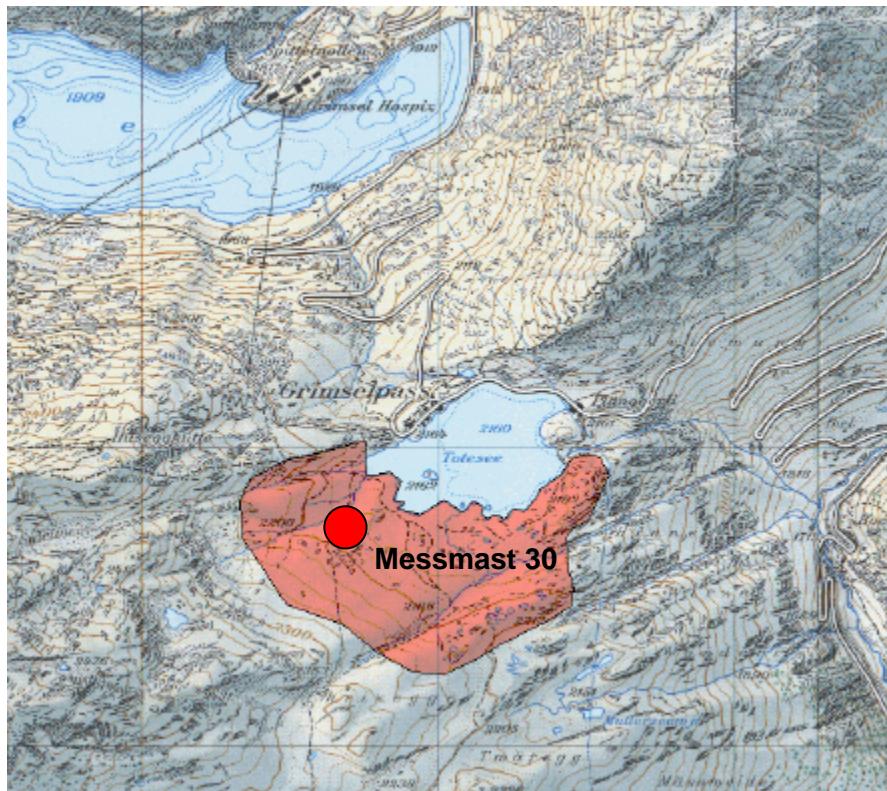
In Tabelle 1 ist die Wartung vom 17.07.2001 nicht erwähnt, weil damals nur kleine Änderungen am Messsystem vorgenommen wurden. Der geheizte Anemometer (NRG Ice Free II) auf 30 m wurde durch einen gleichem Sensortyp (Seriennummer: III29) ersetzt. Zudem wurde die Ausrichtung des geheizten Anemometers auf 10 m von 180° auf 205° gesetzt.

3.3 MESSSTANDORTE UND MESSPERIODE

Tabelle 2 listet die Messperiode der Station auf.

Standort	Beginn	Ende
Grimsel	01.12.2000 10:20	30.06.2002 21:30

Tab 2. Messperiode Messstation Grimsel.



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie (JA022180)

Abb 1. Perimeter Projektgebiet Grimsel und Standort der 30-m-Messstation.

4. MESSDATEN

4.1 DATENVERFÜGBARKEIT

Tabelle 3 listet die Datenverfügbarkeit pro Messniveau auf. Die Datenverfügbarkeit ist auf den Tag des Jahres bezogen: Falls beispielsweise im Jahr 2001 am 03. Januar keine verlässlichen Daten gemessen wurden, dafür aber am 03. Januar 2002, so gilt der Tag als vollständig.

Standort	Messung	Datenverfügbarkeit pro Tag des Jahres
Grimsel	Windgeschwindigkeit 10 m	99 %
	Windgeschwindigkeit 20 m	82 %
	Windgeschwindigkeit 30 m	87 %
	Windrichtung	100 %

Tab 3. Datenverfügbarkeit pro Messniveau.

4.2 DATENLÜCKEN

Die folgende Tabelle listet die vollständigen Datenlücken auf (Ausfall des ganzen Systems).

Beginn Lücke	Ende Lücke	Dauer	Ursache
17.07.2001 10:10	17.07.2001 13:00	3 Stunden	Wartung
26.09.2001 11:50	26.09.2001 15:50	3 Stunden	Wartung
26.10.2001 13:50	26.10.2001 14:10	10 Minuten	Übertragungsverlust
08.05.2002 01:50	14.05.2002 13:20	6.5 Tage	Stromausfall
14.05.2002 13:50	14.05.2002 14:20	20 Minuten	Stromausfall
23.06.2002 16:10	26.06.2002 07:40	2.7 Tage	Stromausfall
30.06.2002 20:50	30.06.2002 21:20	20 Minuten	Stromausfall

Tab 4. Vollständige Datenlücken auf der Station Grimsel.

Während der Winterzeit sind die ungeheizten Anemometer NRG #40 Max sowie die geheizten Anemometer NRG Ice Free II teilweise ausgefallen. Um vereiste Abschnitte zu erkennen, wurde je nach Sensor unterschiedlich vorgegangen:

- **Geheizter Sensor auf 10 m:** Die Ausfälle des geheizten Sensors auf 10 m, der praktisch eine lückenlose Datenreihe besitzt, wurden manuell gesucht. In der Auswertung wurden nur die Daten ganzer, lückenloser Tage akzeptiert, die restlichen Tage wurden als Datenlücken verworfen.
- **Ungeheizte Sensoren und geheizter Sensor auf 30 m:** Die Ausfälle der ungeheizten Sensoren sowie auch des geheizten Sensors auf 30 m wurden mit Hilfe einer Routine gefunden. Für jeden Tag der gesamten Messperiode wurde der entsprechende 10-Minuten-Windgeschwindigkeitsmittelwert mit demjenigen des ungeheizten Sensors auf 10 m verglichen. Es wurden nur diejenigen Windgeschwindigkeiten miteinander verglichen, bei denen der geheizte Sensor auf 10 m Windgeschwindigkeiten von mindestens 3 m/s zeigte. Wichen pro Tag mindestens 12 Werte mehr als 30 % von denen des geheizten Sensors auf 10 m Höhe ab, so wurde für den entsprechenden Sensor der ganze Tag als Datenlücke verworfen. Vereiste Tage des Ice Free II Anemometers in 10 m Höhe wurden auch bei den restlichen Sensoren als vereist betrachtet.

Die Ausfälle der einzelnen Sensoren sind in Tabelle 5 aufgelistet und in Abbildung 2 grafisch dargestellt. Dem ungeheizten Sensor auf 10 m fehlte bei der Demontage ein Anemometercup. Der Ausfall geschah vermutlich Anfang Jahr 2002 und kann nicht genau datiert werden, da die ungeheizten Sensoren im Winter ohnehin oft ausfallen. Die im Jahr 2002 aufgezeichneten Daten des ungeheizten Sensors auf 10 m wurden daher in der Auswertung nicht berücksichtigt.

Monat	NRG #40	NRG #40	NRG #40	NRG Ice	NRG Ice
	Max 10 m	Max 20 m	Max 30 m	Free II 10 m	Free II 30 m
Dezember 2000	27	9	10	--	27
Januar 2001	31	8	9	--	31
Februar 2001	28	12	15	--	28
März 2001	30	17	18	--	30
April 2001	27	19	20	--	27
Mai 2001	6	1	1	--	1
Juni 2001	17	8	6	--	17
Juli 2001	--	--	--	--	2
August 2001	--	2	--	--	--
September 2001	14	12	10	4	12
Oktober 2001	--	--	1	--	--
November 2001	25	27	18	--	20
Dezember 2001	29	14	9	2	29
Januar 2002	31	3	4	--	31
Februar 2002	28	11	11	--	28
März 2002	31	13	15	--	31
April 2002	30	13	12	--	29
Mai 2002	31	11	23	--	21
Juni 2002	30	5	28	--	13
Total	402/577	185/577	210/577	4/577	377/577
Total 2001	207/365	120/365	107/365	4/365	197/365

Tab 5. Ausfälle der einzelnen Sensoren in Tagen.

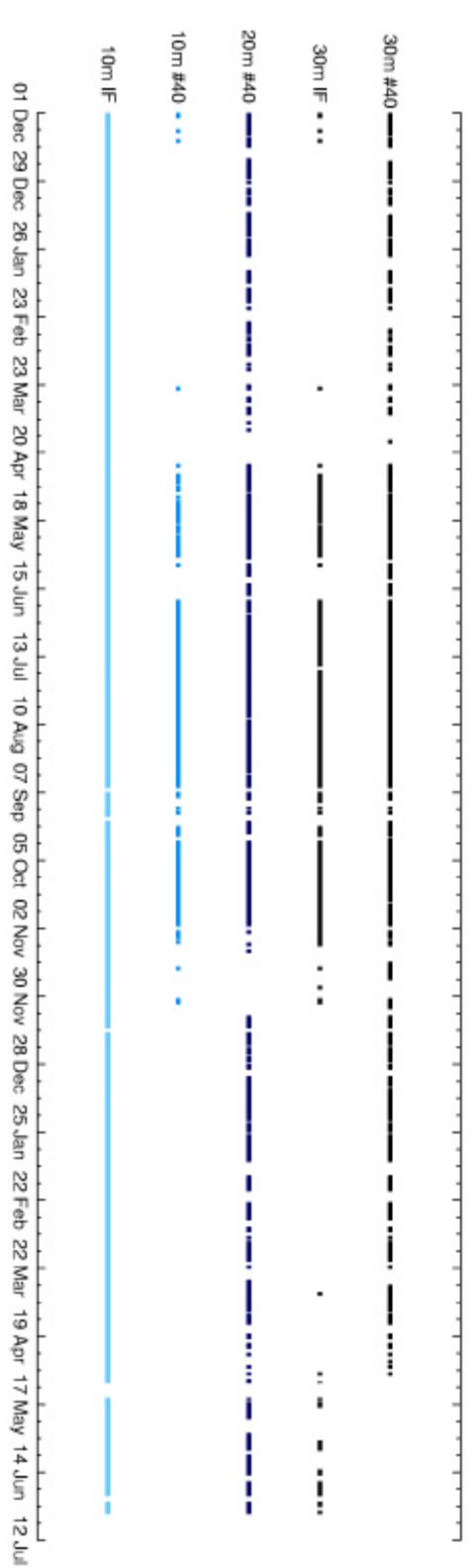


Abb 2. Grafische Darstellung der Datenverfügbarkeit über die bisherige Messperiode pro Sensor:
IF = NRG Ice Free II, #40 = NRG #40 Max.



5. DATENVERVOLLSTÄNDIGUNG

Datenlücken in den Datenreihen der drei Messniveaus wurden durch Umrechnen von anderen Höhen geschlossen. Es entstanden nur dort Datenlücken, wo alle Sensoren gleichzeitig eingefroren waren (2 Tage im September 2001 und 4 Tage im Dezember 2001). Das Ergebnis sind nahezu vollständige Datenreihen für alle drei Messniveaus, die als Grundlage für die weiteren Auswertungen dienten.

5.1 ABWEICHUNGEN DER ANEMOMETER

Die Messungen der geheizten Sensoren weichen im Mittel bis zu 4.6 % (für Werte ab 3 m/s, Abb. 5) von den Messungen der #40 Max ab. Dieser Befund kann durch zwei Gegebenheiten erklärt werden:

- **Schräganströmungen:** Laut Angaben des Herstellers ist der geheizte Sensor typ anfälliger auf die Vertikalkomponente des Windes als der ungeheizte Typ. Aufwinde - der Standort befindet sich auf einer kleinen Krete - lassen die geheizten Sensoren leicht höhere Windgeschwindigkeiten aufzeichnen. Eine Untersuchung in Finnland hat gezeigt, dass der geheizte Anemometer typ speziell bei Schräganströmungen die horizontale Windgeschwindigkeit stark überschätzt (Abb. 3)¹.

¹ Tammelin, B., Cavaliere, M., Kumura, S., Morgan, C., Peltomaa, A.: Boreas IV; Ice Free Anemometers.

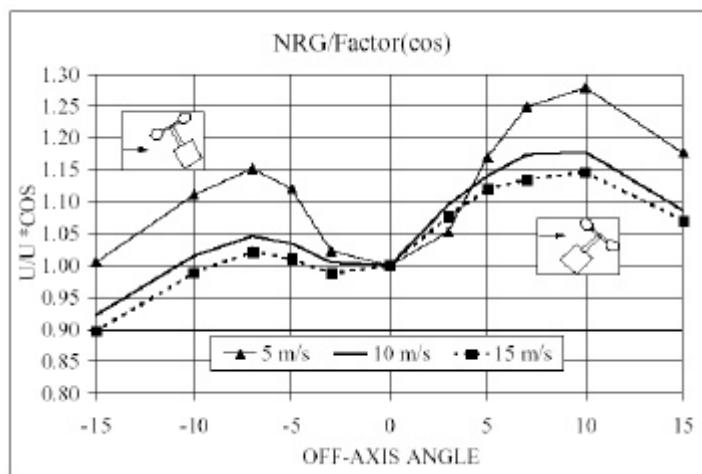


Abb 3. Gemessener Effekt auf die Windgeschwindigkeit für verschiedene Schräganströmungen (von 15 bis 15 Grad) für den Anemometertyp NRG Ice Free II bei drei verschiedenen Windgeschwindigkeiten (5, 10 und 15 m/s). U ist die horizontale Windgeschwindigkeitskomponente.

- **Turbulenz:** Der geheizte Sensor Typ weist durch seine kleineren Schalen einen längeren Windweg auf als der ungeheizte Typ. Der Windweg ist ein Mass, wie schnell ein Sensor auf sich ändernde Windbedingungen reagieren kann. Der geheizte Sensor Typ reagiert also träger auf plötzliche Windgeschwindigkeitsänderungen. In turbulenten Windverhältnissen tritt beim geheizten Sensor Typ daher ein sogenanntes „Overspeeding“ (der Sensor beschleunigt schneller als dass er abbremst) stärker auf, was leicht erhöhte Mittelwerte der Windgeschwindigkeit zur Folge hat.

Die Turbulenzintensität am Standort Grimsel ist bei tiefen Windgeschwindigkeiten (bis etwa 3 m/s) relativ gross (Tab. 12). Dies bewirkt höhere Windgeschwindigkeiten beim geheizten Sensor vor allem bis etwa 3 m/s (Abb. 4), was sich wiederum in höheren Mittelwerten niederschlägt.

In diesem Bericht wurde von einem die Standardkalibrationsfunktion erfüllenden NRG #40 Max Anemometer als Referenzsystem ausgegangen. Die durch die Korrelation des geheizten mit dem ungeheizten Sensor pro Messniveau gefundene Regression wurde zur Korrektur der 10-Minuten-Windgeschwindigkeitsmittelwerte, Standardabweichungen und Böen spitzen des geheizten Sensors benutzt. Die Abbildungen 4 und 5 zeigen die Korrelation auf 10 m und 30 m sowie die entsprechende Regressionsgerade, die für (relevante) Werte über 3 m/s in eisfreien Perioden gefunden wurde.

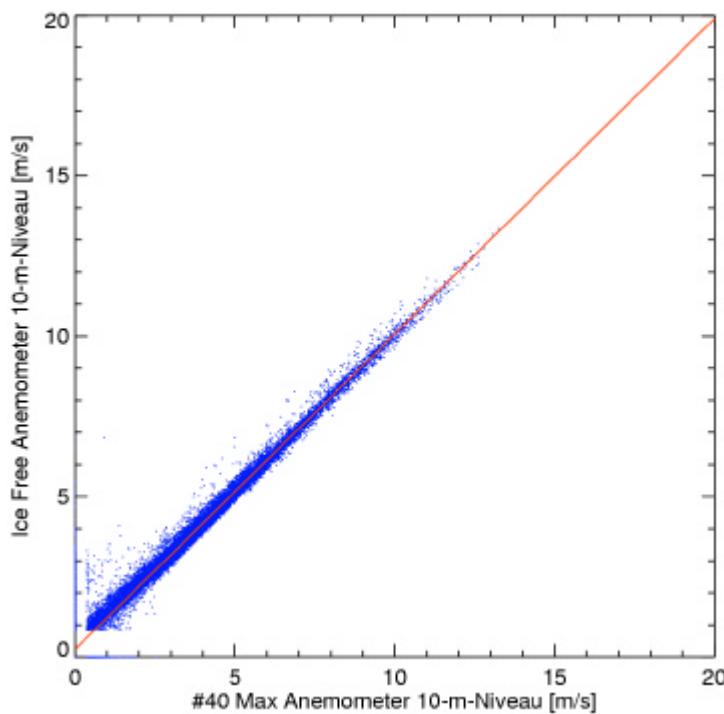


Abb 4. Korrelation der Messungen des Ice Free II Anemometers mit den Messungen des #40 Max Anemometers auf 10 m. Für Werte ab 3 m/s ist die Gleichung der Regressionsgerade $y = 0.983 x + 0.240$ und die Standardabweichung 0.038.

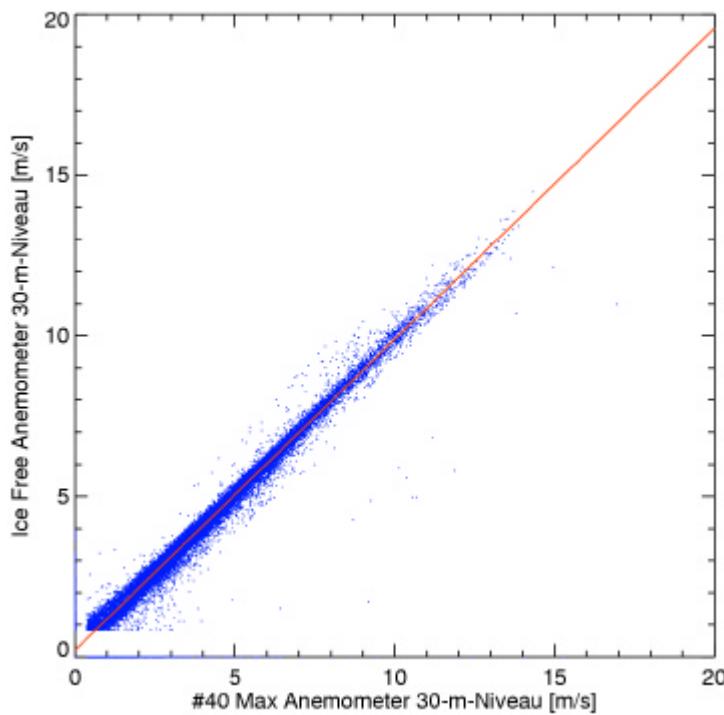


Abb 5. Korrelation der Messungen des Ice Free II Anemometers mit den Messungen des #40 Max Anemometers auf 30 m. Für Werte ab 3 m/s ist die Gleichung der Regressionsgerade $y = 0.966 x + 0.225$ und die Standardabweichung 0.046.

5.2 DATENLÜCKEN SCHLIESSEN

Datenlücken konnten durch das Umrechnen von anderen Höhen geschlossen werden. Ausgegangen wurde vom praktisch durchgehend messenden, #40 Max-korrigierten Ice Free II Anemometer auf 10 m. Die Umrechnung erfolgte über eine Potenzfunktion. Die Windgeschwindigkeit v_2 in der Höhe z_2 ist durch den Exponent a und die Windgeschwindigkeit v_1 in der Höhe z_1 folgendermassen abschätzbar:

$$v_2 = \left[\frac{z_2}{z_1} \right]^a \cdot v_1 \quad [\text{m/s}]$$

Zunächst muss ein Exponent a ermittelt werden. Für die Umrechnung auf die Messniveaus 20 m und 30 m wurden zwei unterschiedliche a verwendet um eine möglichst genaue Rekonstruktion zu erreichen: a_1 und a_2 . a_1 wurde aus den Messungen der ungeheizten Sensoren auf 10 m und 20 m ermittelt und für die Hochrechnung auf 20 m verwendet. a_2 wurde aus den Messungen der ungeheizten Sensoren auf 10 m und 30 m ermittelt und für die Hochrechnung auf 30 m verwendet.

Die 10-Minuten-Windgeschwindigkeitsmittelwerte der ungeheizten Sensoren wurden nur dann zur a -Berechnung ausgewählt, wenn folgende Bedingungen erfüllt wurden:

- Die Messungen auf allen drei Messniveaus der ungeheizten Sensoren sind gleichzeitig eisfrei (siehe Kapitel 4.2).
- Die Mittelwerte der Windgeschwindigkeiten der drei Messungen betragen alle mindestens 3 m/s. (Grund: Bei tiefen Windgeschwindigkeiten ergeben sich unplausible a -Werte infolge hoher Turbulenz).

Um dem komplexen Gelände Rechnung zu tragen, wurde gemäss der folgenden Gleichung für 12 Windrichtungssektoren je ein a berechnet.

$$a = \frac{\log\left(\frac{v_2}{v_1}\right)}{\log\left(\frac{z_2}{z_1}\right)} \quad [-]$$

v_1 bzw. v_2 ist das Mittel der in den jeweiligen Sektor fallenden 10-Minuten-Windgeschwindigkeitsmittelwerte auf der Höhe z_1 bzw. z_2 .

5.3 VERFAHREN ZUR DATENAUSWAHL FÜR JEDES MESSNIVEAU

Für jedes Messniveau wurde eine Datenreihe erstellt, die nach untenstehenden Prioritäten aus hochgerechneten und gemessenen Daten zusammengesetzt wurde.

10 m Messniveau:

1. Priorität: #40 Max auf 10 m
2. Priorität: #40 Max-korrigierter Ice Free II auf 10 m

20 m Messniveau:

1. Priorität: #40 Max auf 20 m
2. Priorität: Hochrechnung auf 20 m ausgehend vom #40 Max-korrigierten Ice Free II auf 10 m

30 m Messniveau:

1. Priorität: #40 Max auf 30 m
2. Priorität: #40 Max-korrigierter Ice Free II auf 30 m
3. Priorität: Hochrechnung auf 30 m ausgehend vom #40 Max-korrigierten Ice Free II auf 10 m

6. DATENSÄTZE MESSSTATION GRIMSEL

6.1 BEREINIGTER DATENSATZ

Die Rohdaten mussten vor der Analyse bereinigt werden. Folgende Bearbeitungsschritte wurden zu diesem Zweck vorgenommen:

- Windrichtung: Das gemessene Nord der Windfahnen stimmt installationsbedingt nicht mit dem magnetischen Nord überein. Die Daten der Windrichtung wurden mit dem gemessenen Offset korrigiert.
- Die in Absatz 4.2. aufgelisteten Fehlwerte und Messlücken wurden mit dem Wert '-999' gekennzeichnet. Sporadische Fehlwerte wurden ebenfalls auf '-999' gesetzt.

Der bereinigte Datensatz der Messstation Grimsel liegt als ASCII-Textdatei auf der CD-ROM ('Grimsel.dat') vor. Die Werte sind in Spalten angeordnet und durch Kommata getrennt.

Spalte	Bedeutung/Parameter
A	Datum [mmddyy] mm = Monat; dd = Tag; yy = Jahr
B	Zeit [hhmm] hh = Stunde; mm = Minute
C	Mittlere Windgeschw. (10-Min.-Mittel) in 10 m, NRG-Anemometer #40 Max [m/s]
D	Mittlere Windgeschw. (10-Min.-Mittel) in 20 m, NRG-Anemometer #40 Max [m/s]
E	Mittlere Windgeschw. (10-Min.-Mittel) in 30 m, NRG-Anemometer #40 Max [m/s]
F	Mittlere Windgeschw. (10-Min.-Mittel) in 10 m, NRG-Anemometer Ice Free II [m/s]
G	Mittlere Windgeschw. (10-Min.-Mittel) in 30 m, NRG-Anemometer Ice Free II [m/s]
H	Standardabweichung Windgeschw. in 10 m, NRG-Anemometer #40 Max [m/s]
I	Standardabweichung Windgeschw. in 20 m, NRG-Anemometer #40 Max [m/s]
J	Standardabweichung Windgeschw. in 30 m, NRG-Anemometer #40 Max [m/s]
K	Standardabweichung Windgeschw. in 10 m, NRG-Anemometer Ice Free II [m/s]
L	Standardabweichung Windgeschw. in 30 m, NRG-Anemometer Ice Free II [m/s]
M	Böenspitze (2-Sek.-Wert des 10-Min.-Intervalls) in 10 m, NRG-#40 Max [m/s]
N	Böenspitze (2-Sek.-Wert des 10-Min.-Intervalls) in 20 m, NRG-#40 Max [m/s]
O	Böenspitze (2-Sek.-Wert des 10-Min.-Intervalls) in 30 m, NRG-#40 Max [m/s]
P	Böenspitze (2-Sek.-Wert des 10-Min.-Intervalls) in 10 m, NRG-Ice Free II [m/s]
Q	Böenspitze (2-Sek.-Wert des 10-Min.-Intervalls) in 30 m, NRG-Ice Free II [m/s]
R	Windrichtung in 30 m, NRG-Windfahne Ice Free II [°]
S	Standardabweichung der Windrichtung in 30 m, NRG-Windfahne-Ice Free II [°]
T	Temperatur [°C]
U	Relative Luftfeuchtigkeit [%]

Tab 6. Datenformat der bereinigten Datei der Station Grimsel.

6.2 VOLLSTÄNDIGER DATENSATZ

Um zuverlässige Aussagen über das Windpotential während des Messjahres sowie über das langjährige Windpotential machen zu können, ist es wichtig, von einer konsistenten und praktisch lückenlosen Datenreihe ausgehen zu können. Fehlende Daten extrapolierten wir von den anderen Messniveaus, wie in Kapitel 5 beschrieben. Die Datenlücken, welche durch die Vereisung sämtlicher Sensoren während 6 Tagen im Jahr 2001 entstanden sind, konnten hingegen nicht geschlossen werden.

Der vollständige Datensatz umfasst die gesamte Messperiode und ist auf einer CD gespeichert. Die Werte sind in Spalten angeordnet, die durch Kommata getrennt sind (Tab. 7). Zusätzlich zu den vollständigen Messreihen in 10, 20 und 30 m Höhe beinhalten sie die extrapolierten 10-Minuten-Mittelwerte in 50 m und 60 m Höhe sowie die Standardabweichung der Windgeschwindigkeiten auf allen Messhöhen.

Spalte	Bedeutung/Parameter
A	Datum [mmddyy] mm = Monat; dd = Tag; yy = Jahr
B	Zeit [hhmm] hh = Stunde; mm = Minute
C	Mittlere Windgeschwindigkeit (10-Min.-Mittel) in 10 m [m/s]
D	Mittlere Windgeschwindigkeit (10-Min.-Mittel) in 20 m [m/s]
E	Mittlere Windgeschwindigkeit (10-Min.-Mittel) in 30 m [m/s]
F	Mittlere Windgeschwindigkeit (10-Min.-Mittel) in 50 m [m/s]
G	Mittlere Windgeschwindigkeit (10-Min.-Mittel) in 60 m [m/s]
H	Windrichtung [°]
I	Standardabweichung der Windgeschwindigkeit (10-Min.-Mittel) in 10 m [m/s]
J	Standardabweichung der Windgeschwindigkeit (10-Min.-Mittel) in 20 m [m/s]
K	Standardabweichung der Windgeschwindigkeit (10-Min.-Mittel) in 30 m [m/s]

Tab 7. Datenformat des vollständigen Datensatzes der Station Grimsel.

6.3 LANGJÄHRIGER DATENSATZ

In Abschnitt 7.5 schätzen wir das langjährig zu erwartende Windpotential an der Station ab. Das Resultat ist eine Tabelle mit monatlichen Mittelwerten der Windgeschwindigkeiten, die im langjährigen Mittel zu erwarten sind. Da sich eine solche Tabelle für Modellierungen schlecht eignet, erstellten wir für die Station Grimsel einen langjährigen Datensatz, bestehend aus 10-Minuten-Werten der Windgeschwindigkeit auf 10, 20, 30, 50 und 60 m sowie der Windrichtung. Als Basis benutzten wir den vollständigen Datensatz. Die Daten der Windgeschwindigkeit wurden monatlich mit den Faktoren aus Tabelle 17 verrechnet. Die Daten der Windrichtung wurden unverändert vom vollständigen Datensatz übernommen.

Da die für die Bestimmung der Luftdichte benötigten Zusatzmessungen am Standort nicht vorhanden waren, wurden langjährige monatliche Mittelwerte von Zusatzmessungen benachbarter Stationen verwendet und für den Standort Grimsel interpoliert. Das genaue Verfahren ist in Kapitel 7.3 beschrieben. Die so ermittelten, monatlichen Mittelwerte der Luftdichte sind der Vollständigkeit halber für jedes 10-Minuten-Intervall angegeben.

Der langjährige Datensatz ist mit grosser Vorsicht zu behandeln. Er stellt nicht mehr als eine sehr grobe Abschätzung eines Jahresgangs der Windgeschwindigkeiten im langjährigen Mittel dar ('Grimsel_lj.dat'). Die Daten sind in Spalten angeordnet, die durch Kommata getrennt sind (Tab. 8).

Spalte	Bedeutung/Parameter
1	Datum [mmdat] mm = Monat; dd = Tag; yy = Jahr
2	Zeit [hhmm] hh = Stunde; mm = Minute
3	Mittlere Windgeschwindigkeit (10-Min.-Mittel) in 10 m [m/s]
4	Mittlere Windgeschwindigkeit (10-Min.-Mittel) in 20 m [m/s]
5	Mittlere Windgeschwindigkeit (10-Min.-Mittel) in 30 m [m/s]
6	Mittlere Windgeschwindigkeit (10-Min.-Mittel) in 50 m [m/s]
7	Mittlere Windgeschwindigkeit (10-Min.-Mittel) in 60 m [m/s]
8	Windrichtung [°]
9	Luftdichte [kg/m ³] (langjährige Monatsmittel)

Tab 8. Datenformat des langjährigen Datensatzes.

7. AUSWERTUNG

7.1 RESULTATE DER MESSUNGEN

Die folgenden Tabellen und Grafiken zeigen die Resultate des vollständigen Datensatzes. In den Jahres-Auswertungen wird die Periode vom 01.01.2001 bis zum 31.12.2001 berücksichtigt, während für Verläufe alle verfügbaren Daten dargestellt werden.

Die zeitlichen Verläufe der Messungen werden als gleitende Tagesmittelwerte dargestellt (Abb. 7 - 9): Die Mittelungsperiode umfasst 24 h; 12 h vor und 12 h nach jedem 10-Minuten-Schritt.

7.1.1 Messresultate Messstation Grimsel

Monat	mittlere	mittlere	mittlere	max. 10-	max. 10-	max. 10-
	WG	WG	WG	Min.-Mittel	Min.-Mittel	Min.-Mittel
	in 10 m	in 20 m	in 30 m	in 10 m	in 20 m	in 30 m
Dezember 2000	4.3	4.4	4.5	11.7	11.7	12.5
Januar 2001	4.4	4.4	4.6	11.4	11.2	13.4
Februar 2001	5.5	5.5	5.8	15.6	15.6	16.7
März 2001	4.8	4.8	5.0	13.5	12.3	15.1
April 2001	5.5	5.5	5.8	13.7	13.7	14.6
Mai 2001	3.7	3.9	4.0	12.6	13.1	16.9
Juni 2001	4.4	4.4	4.7	12.8	13.0	13.7
Juli 2001	4.0	3.8	4.2	13.2	13.6	14.3
August 2001	3.6	3.5	3.9	10.0	10.3	11.0
September 2001	4.5	4.5	4.8	13.8	13.2	13.7
Oktober 2001	3.5	3.6	3.6	12.2	12.2	12.9
November 2001	4.4	4.4	4.6	16.1	16.1	17.2
Dezember 2001	3.9	3.8	4.0	14.3	14.3	15.3
Januar 2002	3.7	3.6	3.6	11.8	11.2	11.3
Februar 2002	4.8	4.8	4.9	15.7	16.2	16.5
März 2002	5.1	5.2	5.3	14.6	14.7	15.7
April 2002	4.7	4.8	4.8	14.5	14.5	15.5
Mai 2002	4.0	4.1	4.3	11.3	11.4	15.3
Juni 2002	3.5	3.4	3.5	11.4	11.9	12.2
Jahresmittelwert (Jan bis Dez 01)	4.3	4.3	4.6			

Tab 9. Monatliche Mittelwerte und maximale 10-Minuten-Mittelwerte der Windgeschwindigkeit (WG) am Standort Grimsel. Die Datenreihen der Monate September 2001 und Dezember 2001 (Ausfall geheizter Sensor auf 10 m, Tab. 5) sowie der Monate Mai 2002 und Juni 2002 sind nicht vollständig (Stromausfall, Tab. 4).

Monat	Böen spitze in 10 m [m/s]	Böen spitze in 20 m [m/s]	Böen spitze in 30 m [m/s]
Dezember 2000	19.0	19.1	20.3
Januar 2001	17.9	17.9	22.9
Februar 2001	25.1	25.2	31.0
März 2001	28.1	27.6	35.2
April 2001	22.9	22.1	32.1
Mai 2001	19.0	19.1	27.9
Juni 2001	23.7	23.7	32.5
Juli 2001	21.8	22.2	31.0
August 2001	18.3	19.9	27.1
September 2001	21.5	21.8	22.2
Oktober 2001	18.3	19.1	18.3
November 2001	27.0	27.1	28.9
Dezember 2001	26.7	26.8	28.6
Januar 2002	18.7	17.2	17.2
Februar 2002	28.6	27.9	30.2
März 2002	32.5	32.9	35.2
April 2002	20.9	21.0	23.3
Mai 2002	33.6	34.7	36.6
Juni 2002	18.5	17.9	19.8

Tab 10. Monatliche 2-Sekunden-Böen spitzen am Standort Grimsel. Die Datenreihen der Monate September 2001 und Dezember 2001 (Ausfall geheizter Sensor auf 10 m, Tab. 5) sowie der Monate Mai 2002 und Juni 2002 sind nicht vollständig (Stromausfall, Tab. 4).

Parameter	Jahres- mittelwert	Minimum	Maximum	Standard- abweichung
Temperatur [°C]	-0.2	-20.9	17.2	7.0
Relative Luftfeuchtigkeit [%]	80.5	10.3	99.5	19.7

Tab 11. Zusammenfassung Standort Grimsel: Mittelwerte, Minima, Maxima und Standardabweichungen der Ergänzungsmessungen (Januar bis Dezember 2001).

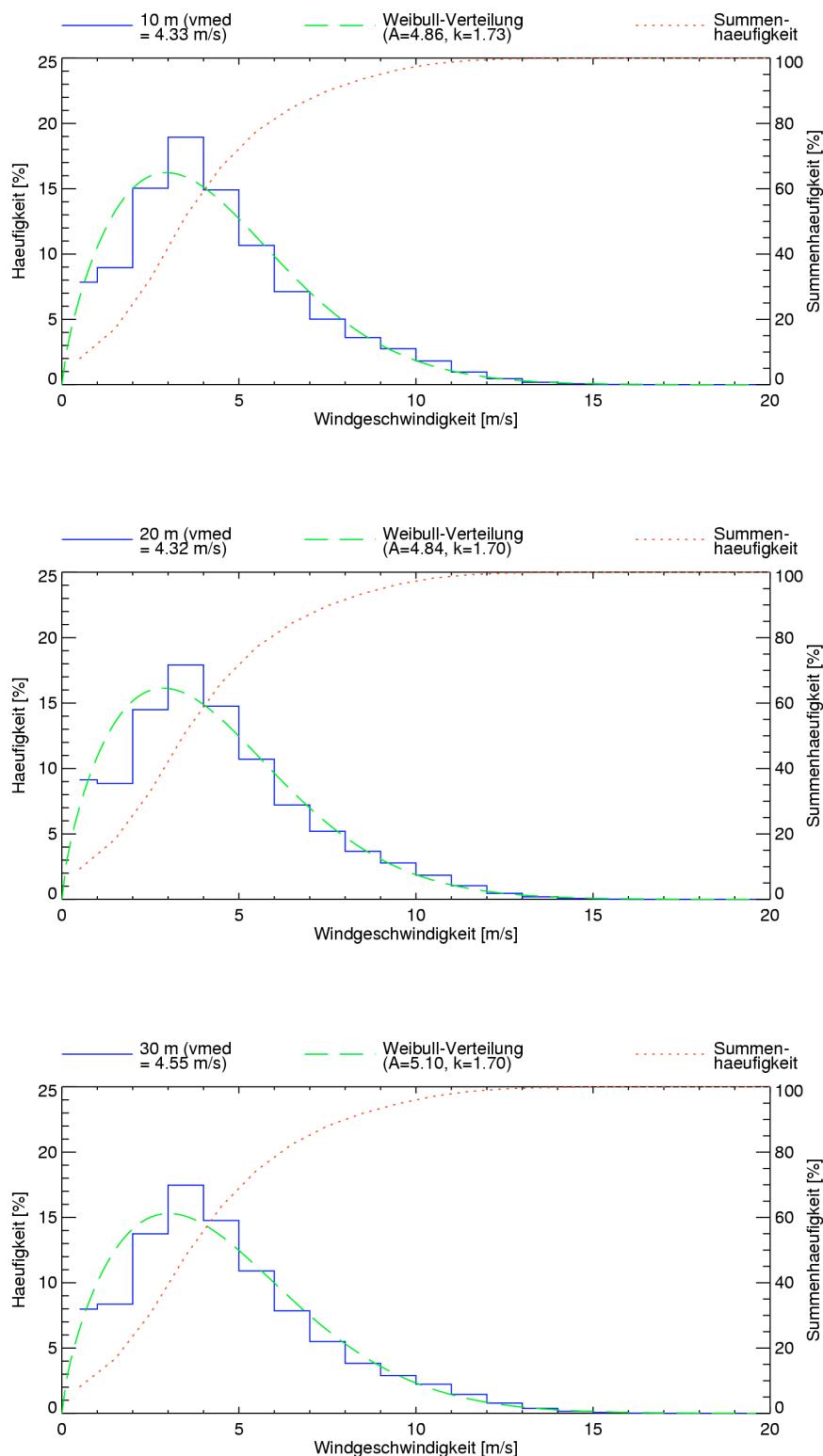


Abb 6. Häufigkeitsverteilung der rekonstruierten Windgeschwindigkeit am Standort Grimsel in 10, 17 und 30 m Höhe. vmed bezeichnet die mittlere Windgeschwindigkeit.

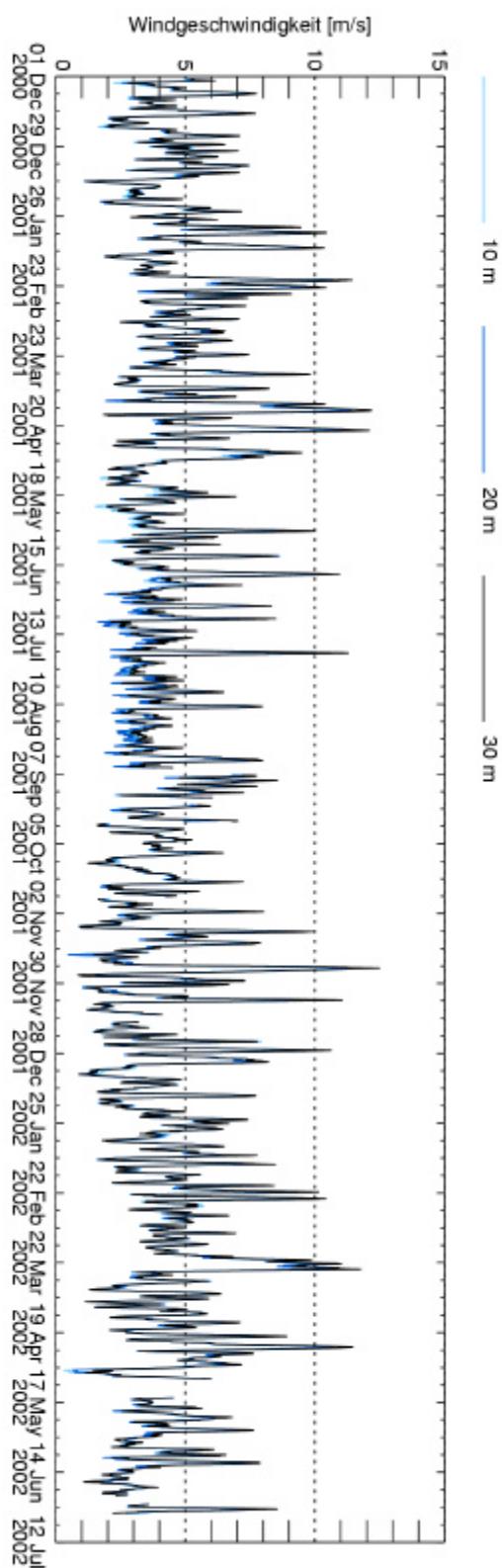


Abb 7. Verlauf der Windgeschwindigkeit am Standort Grimsel (gleitender Tagesmittelwert) in 10, 30 und 50 m Höhe.

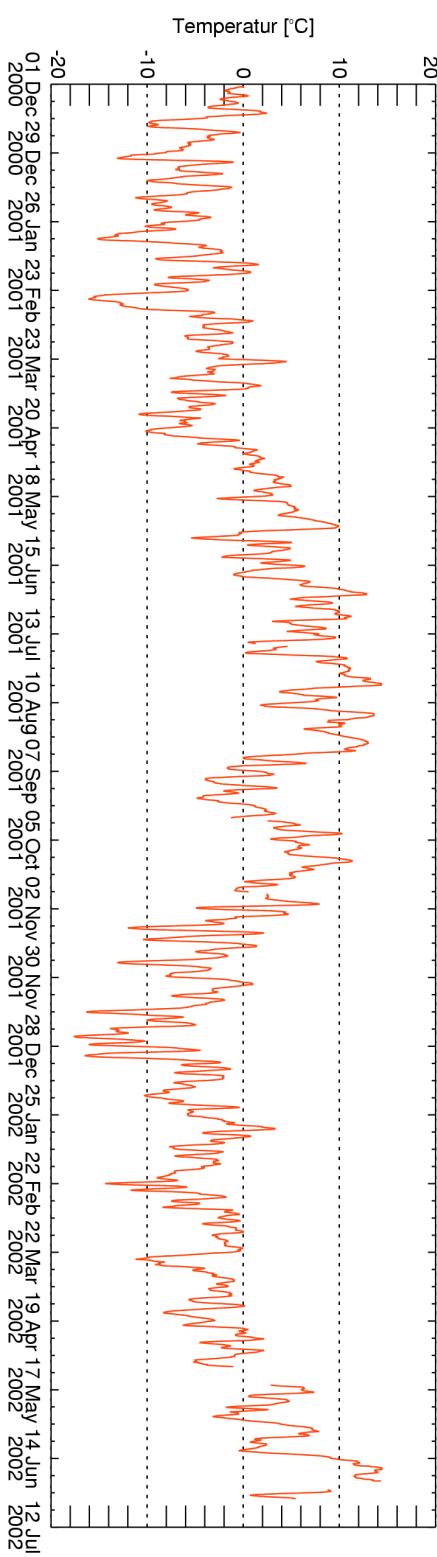


Abb 8. Gleitende Tagesmittelwerte der Temperatur (links).

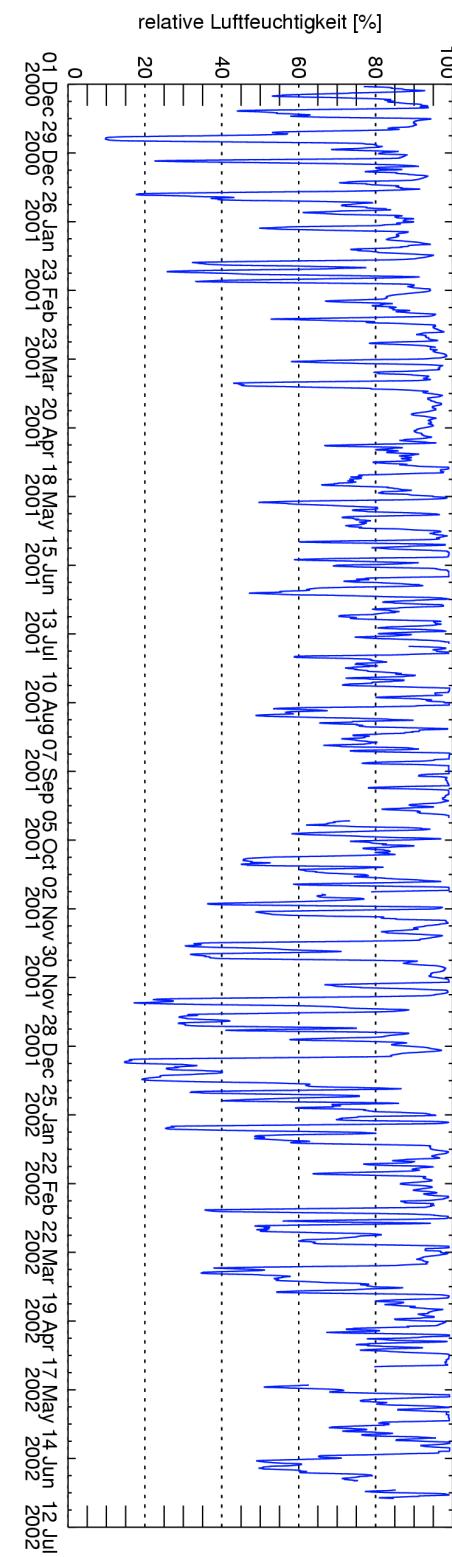


Abb 9. Gleitende Tagesmittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit (rechts).

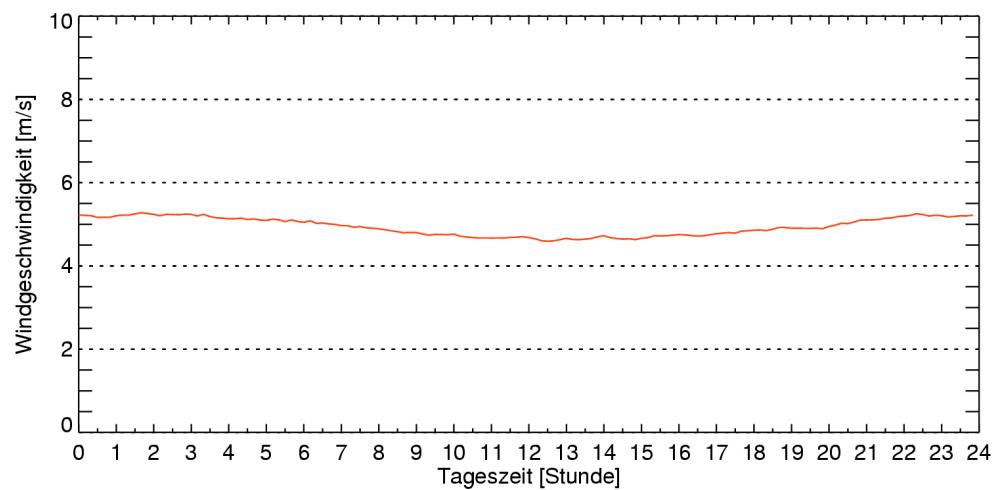


Abb 10. Tagesgang der Windgeschwindigkeit am Standort Grimsel in 30 m Höhe.

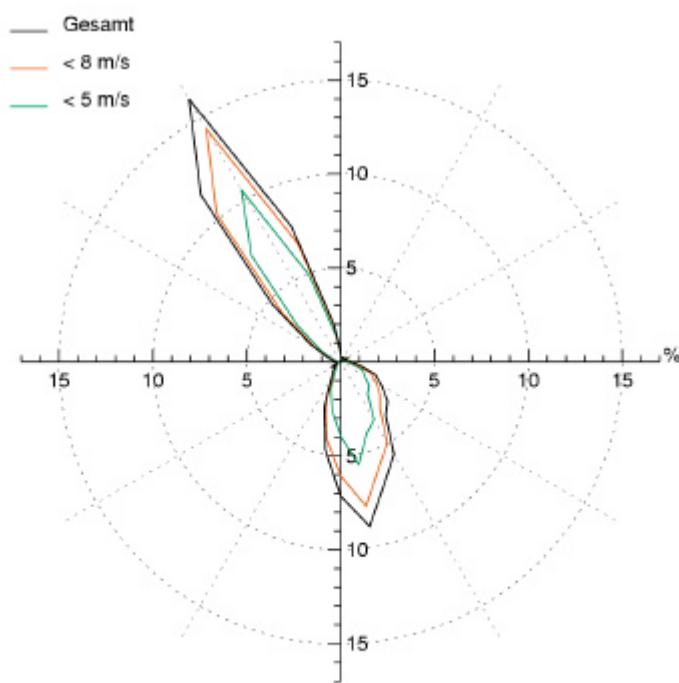


Abb 11. Windrose am Standort Grimsel in 30 m Höhe.

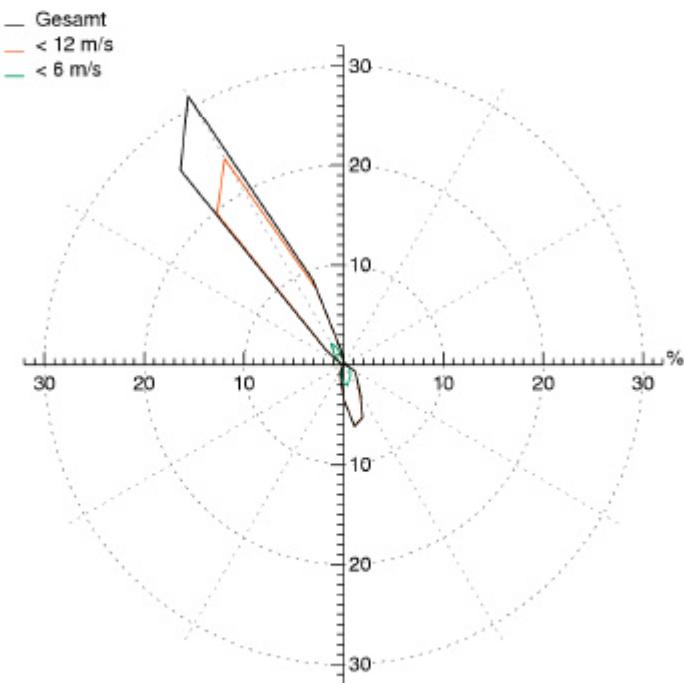


Abb 12. Energierose (Leistungsdichte) für das Jahr 2001 am Standort Grimsel in 30 m Höhe. Unterteilung in eine mögliche Anlauf- und Nennwindgeschwindigkeit von Windkraftanlagen von 6 bzw. 12 m/s.

7.2 TURBULENZANALYSE

Die Turbulenzintensität I lässt sich aus dem 10-Minuten-Mittel der Windgeschwindigkeit v und dessen Standardabweichung s berechnen:

$$I = \frac{s}{v} \quad [-]$$

Die folgenden Grafiken und Tabellen setzen die Turbulenzintensität der Station Grimsel in Funktion der Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Höhe.

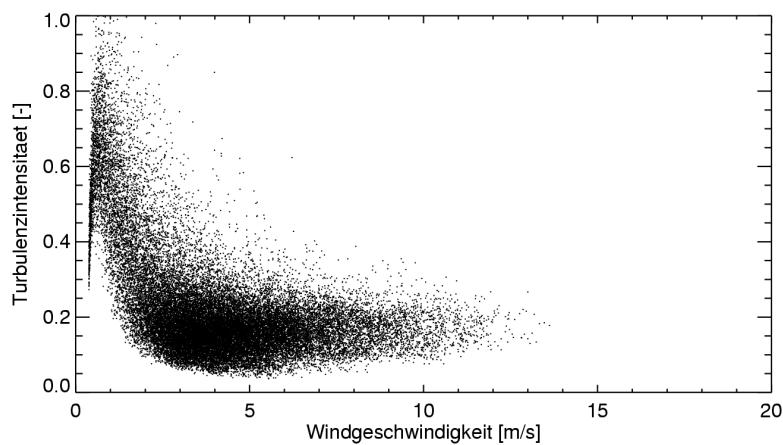


Abb 13. Turbulenzintensität am Standort Grimsel in 30 m Höhe in Funktion der Windgeschwindigkeit. Die Darstellung gilt für die Messperiode ab dem 10. Juli 2001, weil vorher keine Standardabweichungen auf 30 m gemessen wurden.

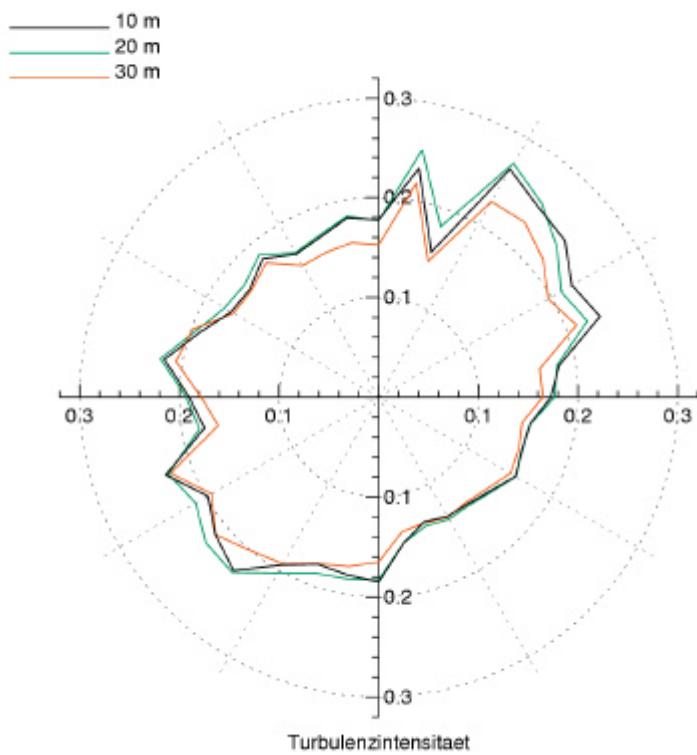


Abb 14. Turbulenzrose am Standort Grimsel in den Höhen 10, 17 und 30 m.

Klasse [m/s]	345– 15°	15– 45°	45– 75°	75– 105°	105– 135°	135– 165°	165– 195°	195– 225°	225– 255°	255– 285°	285– 315°	315– 345°	Mittel- wert
0–1	0.64	0.59	0.60	0.61	0.59	0.56	0.57	0.59	0.55	0.64	0.57	0.56	0.58
1–2	0.44	0.34	0.41	0.40	0.38	0.34	0.36	0.39	0.37	0.42	0.35	0.37	0.37
2–3	0.23	0.22	0.29	0.25	0.21	0.18	0.20	0.20	0.18	0.24	0.21	0.21	0.21
3–4	0.17	0.19	0.20	0.17	0.17	0.14	0.17	0.18	0.19	0.20	0.17	0.18	0.17
4–5	0.17	0.31	0.23	0.15	0.15	0.14	0.16	0.20	0.31	0.20	0.16	0.17	0.16
5–6	0.15	0.18	0.21	0.13	0.15	0.14	0.14	0.21	0.36	0.21	0.19	0.17	0.15
6–7	0.15	0.24	0.18	0.15	0.15	0.15	0.15	0.20	0.26	0.19	0.20	0.18	0.16
7–8	0.16	-	0.18	0.15	0.15	0.15	0.14	0.19	0.28	0.33	0.20	0.18	0.16
8–9	0.13	-	0.15	0.14	0.13	0.15	0.14	0.16	0.26	-	0.24	0.18	0.17
9–10	-	-	0.13	-	0.13	0.15	0.14	0.17	-	-	0.18	0.18	0.17
10–11	-	-	-	-	-	0.15	0.15	0.15	-	0.24	0.18	0.18	0.17
11–12	-	-	-	-	-	0.17	0.17	-	-	-	0.20	0.18	0.17
12–13	-	-	-	-	-	0.23	0.18	-	-	-	-	0.18	0.19
13–14	-	-	-	-	-	0.20	-	-	-	-	0.51	0.23	0.24
14–15	-	-	-	-	-	0.18	-	-	-	-	-	0.84	0.51
15–16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.65	0.65
16–17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.51	0.59	0.55
17–18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18–19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.04	1.04
19–20	1.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.04
20–	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mittelwert	0.26	0.32	0.35	0.30	0.21	0.17	0.19	0.27	0.32	0.37	0.27	0.22	0.22

Tab 12. Analyse der Turbulenzintensität am Standort Grimsel auf 30 m für das Jahr 2001. Die Werte sind in Funktion der Windrichtung und Windgeschwindigkeit angegeben. Die Windrichtungssektoren decken jeweils 30° ab. Die Mittelwerte sind gewichtet mit der Anzahl Werte. Für die Darstellung wurde analog zur Abbildung 13 der ungeheizte Sensor auf 30 m in eisfreien Zeiten verwendet.

7.3 DICHTEANALYSE

Für die Abschätzung der Dichte r am Standort Grimsel wurde die folgende, vereinfachte Formel verwendet:

$$r = \frac{p}{R \cdot T} \quad [\text{kg/m}^3]$$

wobei

R = universelle Gaskonstante [$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$]

T = Temperatur [K]

p = Druck [Pa]

Auf Stationshöhe (2'180 m. ü.M) ist der Einfluss der relativen Luftfeuchtigkeit auf die Luftpumpe für eine Abschätzung vernachlässigbar (Fehler < 0.001%).

Da keine Zusatzmessungen der Luftpumpe am Messstandort aufgezeichnet wurden, wurde die Luftpumpe aus langjährigen, monatlichen Luftdruck- und Lufttemperaturmessungen benachbarter Stationen für den Standort Grimsel berechnet. Folgendes Vorgehen wurde dabei angewendet:

- Luftdruck: Die Meteostation der MeteoSchweiz auf dem Gütsch liegt ca. 100 m höher als die Station Grimsel. Ein Gradient von 10 hPa / 100 m wurde für die Umrechnung angenommen.
- Lufttemperatur: Durch lineare Interpolation zwischen den Meteostationen Guttannen und Gütsch konnten die langjährigen Monatsmittelwerte für die Station Grimsel abgeschätzt werden.

Monat	Mittlere, langjährige Dichte [kg/m ³]
Januar	1.014
Februar	1.013
März	1.011
April	1.002
Mai	0.992
Juni	0.983
Juli	0.975
August	0.976
September	0.982
Oktober	0.990
November	1.004
Dezember	1.011
Jahresmittelwert	0.996

Tab 13. Berechnete langjährige 1961-1990, Monatswerte der Luftdichte am Standort Grimsel.

7.4 ABSCHÄTZUNG DES WINDPOTENTIALS AUF NABENHÖHEN

7.4.1 Vorgehen zur Berechnung des Windpotentials auf Nabenhöhen

Zur Abschätzung des Windpotentials für Windkraftanlagen wird die Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe angegeben.

Das vertikale Profil der Windgeschwindigkeit v in Abhängigkeit der Höhe über Grund z folgt in der Regel einer Potenzfunktion:

$$v(z) = k \cdot z^a \quad [\text{m/s}]$$

Für die Abschätzung der Windgeschwindigkeit in 50 und 60 m Höhe werden die Parameter k und a für jeden Messzeitpunkt der rekonstruierten Datenreihen (alle 10 Minuten) mittels einer Regression aus den Messungen in 10, 20 und 30 m bestimmt und die entsprechenden Windgeschwindigkeiten in 50 und 60 m Höhe alle 10 Minuten berechnet. Im Gegensatz zur Methode der einmaligen Abschätzung des Parameters a können so die herrschenden Windverhältnisse zu jedem Zeitpunkt berücksichtigt werden. a variiert je nach Windrichtung, Windgeschwindigkeit und atmosphärischer Schichtung stark.

Bei einigen Windregimes, vorwiegend bei Flauten, folgt das vertikale Windprofil nicht einer Potenzfunktion. Eine Berechnung der Windgeschwindigkeiten nach oben beschriebener Methode führt dabei zu unplausiblen Werten. Deshalb wird die Berechnung der Windgeschwindigkeiten in Nabenhöhe unter den folgenden Bedingungen angepasst:

- Die gemessene Windgeschwindigkeit auf dem höchsten Messniveau ist 0 m/s. In diesem Fall werden auch für die Nabenhöhen Windstille angenommen.
- Die Windgeschwindigkeit auf dem untersten und/oder mittleren Messniveau ist 0 m/s. In diesem Fall werden die Windgeschwindigkeiten in Nabenhöhen gleich der gemessenen Geschwindigkeit auf dem obersten Messniveau gesetzt.
- Die Windgeschwindigkeit auf dem mittleren Messniveau ist grösser als die zuoberst gemessene. In diesem Fall werden die Windgeschwindigkeiten in Nabenhöhen gleich der gemessenen Geschwindigkeit auf Mastspitze gesetzt.

- Die Windgeschwindigkeit in 10 m ist sehr klein (< 0.4 m/s) und auf den beiden oberen Messniveaus deutlich höher (> 2.0 m/s). In diesem Fall werden für die Berechnung der Windgeschwindigkeiten in Nabenhöhen nur die Werte auf den zwei oberen Messniveaus benutzt.
- Die Windgeschwindigkeit in 10 m ist grösser oder gleich dem Wert in 20 m. In diesem Fall werden für die Berechnung der Windgeschwindigkeiten in Nabenhöhen ebenfalls nur die Werte der zwei oberen Messniveaus benutzt.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die α -Werte der Station Grimsel.

Parameter	Mittelwert	Min.	Max.	Standardabweichung
α	0.08	0.00	2.33	0.008

Tab 14. Die Parameter α mit Mittelwert, Minima, Maxima und Standardabweichung.

Als Vergleichswert zwischen Windenergiestandorten wird oft die Leistungsdichte des Windes P_d angegeben²:

$$P_d = \frac{1}{2} r \cdot v^3 \quad [\text{W/m}^2]$$

v = Windgeschwindigkeit [m/s]

r = Luftdichte [kg/m³]

In den Berechnungen des Windpotentials wurde die Leistungsdichte mit der am Messstandort berechneten Luftdichte (Kap. 7.3) und der gemessenen Windgeschwindigkeit alle 10 Minuten berechnet.

² METEOTEST, 1999: Planung von Windenergieanlagen.

7.4.2 Das Windpotential auf Nabenhöhe

Die Tabelle 15 und die Abbildung 15 zeigen das Windpotenzial in Nabenhöhen 50 m und 60 m am Standort Grimsel.

Monat	Mittlere	Mittlere	Mittlere LD	Mittlere LD
	WG 50 m [m/s]	WG 60 m [m/s]	50 m [W/m ²]	60 m [W/m ²]
Dezember 2000	4.7	4.7	88	91
Januar 2001	4.7	4.7	102	95
Februar 2001	5.9	6.0	211	223
März 2001	5.1	5.1	117	116
April 2001	5.9	6.0	220	231
Mai 2001	4.1	4.2	74	80
Juni 2001	5.0	5.2	137	159
Juli 2001	4.9	5.2	109	137
August 2001	4.6	4.9	73	108
September 2001	5.1	5.2	137	135
Oktober 2001	3.7	3.8	50	52
November 2001	4.7	4.8	165	181
Dezember 2001	4.1	4.2	117	124
Januar 2002	3.7	3.8	60	62
Februar 2002	5.0	5.1	143	149
März 2002	5.4	5.5	162	167
April 2002	4.9	5.0	132	135
Mai 2002	4.5	4.6	96	120
Juni 2002	3.8	3.9	68	74
Jahresmittelwert 2001	4.8	4.9	126	137

Tab 15. Die berechnete monatliche Windgeschwindigkeit (WG) und Leistungsdichte (LD) am Standort Grimsel für die Nabenhöhen 50 m und 60 m.

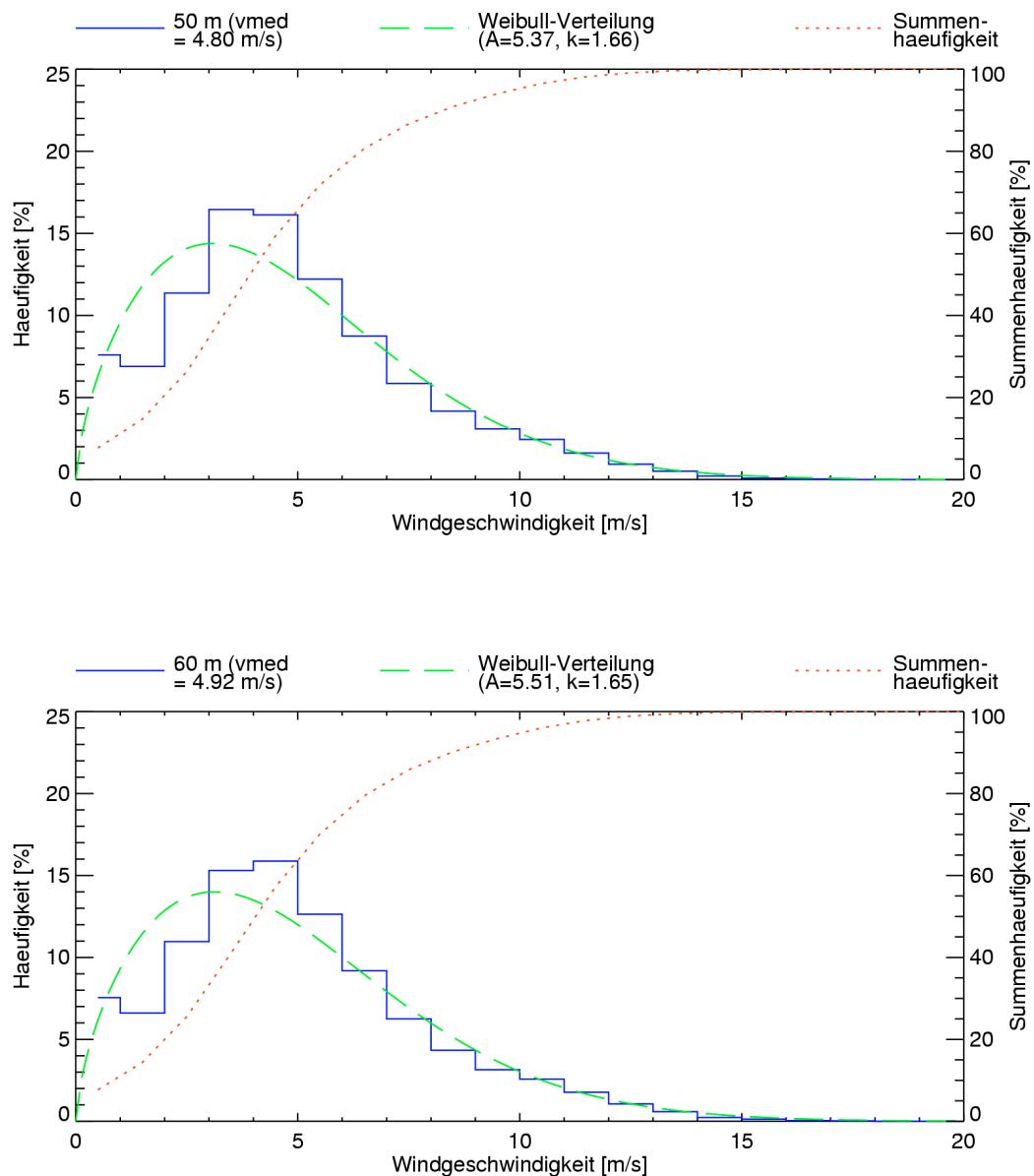


Abb 15. Die berechnete Wind-Häufigkeitsverteilung in Nabenhöhe 50 m und 60 m am Standort Grimsel für das Jahr 2001.

8. DISKUSSION DER RESULTATE

Bei den in diesem Schlussbericht enthaltenen Resultaten handelt es sich um die definitive Interpretation der Ergebnisse.

8.1 EXTRAPOLATION AUF NABENHÖHEN

In diesem Bericht wird die Windgeschwindigkeit für Nabenhöhen auf 50 und 60 m angegeben. Die dazu verwendete Extrapolation basiert auf der Annahme einer Potenzfunktion.

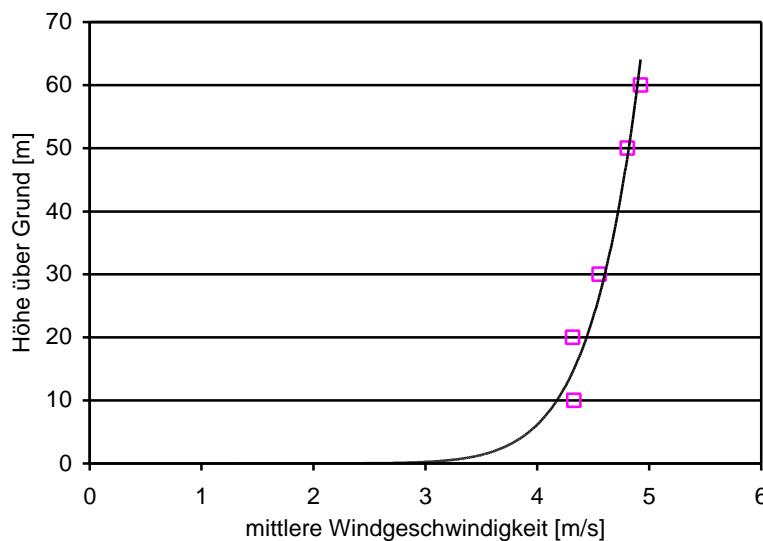


Abb 16. Mittleres vertikales Windprofil am Standort Grimsel für das Jahr 2001.

Eine Potenzfunktion beschreibt für flache Gebiete das mittlere vertikale Windprofil recht genau. Im Gebirge hingegen ist die ungeprüfte Annahme einer Potenzfunktion gefährlich, da Phänomene wie Aufwinde, Turbulenz und Düseneffekte eine grosse Rolle spielen. Die Messdaten illustrieren denn auch die veränderten Bedingungen im Gebirge: Die Zunahme der Windgeschwindigkeit in der Höhe ist sehr gering im Vergleich zu Standorten in flachem Gelände. Die mittlere Windgeschwindigkeit in 20 m ist zudem kleiner als in 10 m. Je nach Windrichtung wird teilweise auch eine Abnahme der Windgeschwindigkeit von 10 auf 30 m Höhe gemessen. Um eine genaue Extrapolation machen zu können, müsste das vertikale Windprofil bis in Nabenhöhe untersucht werden. Dies könnte mittels komplexer Modellierung oder SODAR-Messungen erreicht werden.

8.2 ABSCHÄTZUNG DES LANGJÄHRIGEN WINDPOTENTIALS

Wir schätzten das langjährige Windpotential mit einer MCP-Methode ab (Measure Correlate Predict). Der Name beschreibt das Prinzip: Die Daten verschiedener permanenter Meteostationen werden mit den gemessenen Datenreihen korreliert. Anhand der Daten der am besten korrelierenden Meteostationen wird geprüft, ob das Messjahr über- oder unterdurchschnittlich viel Wind aufwies. Anhand dieser Resultate wurden die langjährig zu erwartenden Windverhältnisse an der Messstation abgeschätzt.

In der Region Grimsel stehen uns die Meteostationen der MeteoSchweiz mit geeigneten, langjährigen Datensätzen zur Verfügung. Von den Stationen des Eidgenössischen Instituts für Schnee- und Lawinenforschung SLF existieren keine langjährigen Winddatensätze.

Im Zeitraum der Messperiode wurden die Monatsmittel von benachbarten Meteostationen mit den vervollständigten Datensätzen auf 10 m der Messstation Grimsel verglichen. Tabelle 16 zeigt die daraus resultierenden Korrelationskoeffizienten. Die Daten der Stationen Crap Masegn, Matro und Gütsch zeigen beim Vergleich der Monatsmittelwerte der Windgeschwindigkeit die besten Korrelationen. Wir stützen die langjährige Abschätzung deshalb auf diese drei Stationen ab.

Stationen	Korrelation Monatsmittel mit Grimsel
Crap Masegn	0.768
Matro	0.732
Gütsch	0.696
Hinterrhein	0.647
Generoso	0.601
Visp	0.561
Grimsel-Hospitz	0.558

Tab 16. Benachbarte Meteostationen der Station Grimsel mit Korrelationen mit den Messungen in 10 m Höhe der Station Grimsel. Korrelation von Monatsmitteln.

Mit dem Datensatz der drei Meteostationen wurde ein Vergleich der langjährigen Daten mit der Messperiode angestellt. Durch die Bildung der Verhältnisse zwischen den langjährigen Monatsmitteln und den Monatsmitteln der Messperiode ergab sich einen Faktor pro Monat. Das Resultat sagt aus, ob im entsprechenden Monat der Messperiode über- oder unterdurchschnittlich viel Wind gemessen wurde und quantifiziert den Unterschied.

Aufgrund der hohen Korrelation zwischen den ausgewählten Meteostationen und der Messstation Grimsel erfolgte bei letzterer auch eine gute Abschätzung des langjährigen Windpotentials. Die Faktoren sind in Tabelle 17 wiedergegeben. Die Auswertungen ergaben, dass im langjährigen Mittel mit ca. 9 % weniger Wind zu rechnen ist als im Jahr 2001 gemessen worden ist.

Monat	Verhältnis	Verhältnis	Verhältnis	Mittelwert
	Langj./MP	Langj./MP	Langj./MP	
	Crap Masegn	Matro	Gütsch	
Dezember 2000	1.114	0.964	0.762	0.947
Januar 2001	1.298	0.783	0.452	0.844
Februar 2001	0.813	0.626	0.689	0.710
März 2001	1.121	0.983	0.701	0.935
April 2001	1.030	0.971	0.762	0.921
Mai 2001	1.084	1.038	0.803	0.975
Juni 2001	0.986	0.797	0.805	0.862
Juli 2001	1.120	0.818	0.705	0.881
August 2001	1.238	0.898	0.765	0.967
September 2001	0.880	0.879	0.764	0.841
Oktober 2001	1.250	1.000	0.808	1.019
November 2001	1.205	1.034	0.940	1.060
Dezember 2001	0.901	0.818	1.011	0.910
Januar 2002	1.281	1.125	0.600	1.002
Februar 2002	0.897	1.000	0.814	0.904
März 2002	0.958	1.000	0.701	0.887
April 2002	1.358	1.269	0.893	1.173
Mai 2002	1.125	1.000	0.761	0.962
Juni 2002	1.200	1.119	0.907	1.075
Jahresmittelwert 2001	1.077	0.887	0.767	0.910

Tab 17. Verhältnisse der langjährigen Daten 1983 - 1997 (Langj.) und der Messperiode (MP) der Stationen Crap Masgen, Matro und Gütsch.

Die aus den drei Meteostationen gemittelten Faktoren wurden mit den monatsweise gemessenen (10, 20 und 30 m) bzw. berechneten (50 und 60 m) 10-Minuten-Werte der Windgeschwindigkeit der Messstandorte multipliziert. Die daraus resultierenden langjährig zu erwartenden Monatsmittel am Standort Grimsel sind in Tabelle 18 angegeben. Es wurde die ganze Messperiode berücksichtigt, indem für doppelt gemessene Monate (Dezember - Juni) der Mittelwert verwendet wurde.

Monat	Mittlere WG				
	10 m [m/s]	20 m [m/s]	30 m [m/s]	50 m [m/s]	60 m [m/s]
Januar	3.8	3.8	4.0	4.1	4.1
Februar	3.7	3.7	3.7	3.8	3.9
März	4.1	4.1	4.3	4.4	4.4
April	4.5	4.5	4.7	4.8	4.8
Mai	5.3	5.3	5.5	5.6	5.7
Juni	3.7	3.8	4.0	4.2	4.3
Juli	3.7	3.7	3.9	4.2	4.3
August	3.5	3.3	3.7	4.3	4.6
September	3.5	3.4	3.8	4.4	4.7
Oktober	3.8	3.8	4.1	4.3	4.4
November	3.6	3.6	3.7	3.8	3.8
Dezember	4.6	4.6	4.8	5.0	5.1
Jahresmittelwert	4.0	4.0	4.2	4.4	4.5

Tab 18. Das langjährige Windpotential am Standort Grimsel (WG = Windgeschwindigkeit).

9. FEHLERABSCHÄTZUNG

9.1 ZUSAMMENFASSUNG

In den folgenden Abschnitten werden die Fehler der verschiedenen Daten und Auswertungen analysiert. Es lassen sich zusammengefasst die folgenden Aussagen machen:

- Die Nacheichung der Anemometer im Windkanal zeigte, dass die #40-Max-Anemometer bis zum Schluss der Messkampagne verlässliche Daten lieferten (Abs. 8.2). Das benutzte Eichverfahren ist für eine genaue Kalibration der Ice-Free-II-Sensoren nicht geeignet.
- Der Rechenfehler ist vernachlässigbar (Abs. 8.3).
- Der Fehler der einzelnen 10-Minuten-Werte der Windgeschwindigkeit des bereinigten Datensatzes beträgt 0.9% für die #40-Max-Anemometer und 5.1% für die Ice-Free-II-Anemometer (Abs. 8.4).
- Der Fehler der einzelnen 10-Minuten-Werte der Windgeschwindigkeit des vollständigen Datensatzes beträgt je nach Ursprung der Daten 0.9 – 7 % (Abs. 8.5).
- Der Fehler der Monatsmittelwerte der Windgeschwindigkeit in den Messhöhen beträgt 0.9 % für Monate ohne Datenlücken und Jahresmittelwerte (Abs. 8.6).
- Der Fehler der Extrapolation auf Nabenhöhen kann für das komplexe Gelände des Standorts nicht abgeschätzt werden (Abs. 8.7).
- Der Fehler in der Bestimmung des langjährigen Windpotentials wurde zu 8.4 % für die Mittelwerte der Windgeschwindigkeit abgeschätzt (Abs. 8.8).
- Mögliche Abweichungen zu anderen Messkonfigurationen (bedingt durch andere Anemometer-Typen) wurden untersucht (Abs. 8.9), aber in der Fehlerrechnung nicht berücksichtigt, da wir bei der Angabe von Resultaten und Fehlern das benutzte Messsystem voraussetzten.

9.2 NACHEICHUNG

Alle Anemometer wurden im Windkanal der Berner Fachhochschule nachgeeicht. Als Referenz für die Eichung der #40-Max-Anemometer diente ein neues #40-Max-Anemometer (Serien-Nr. 1010), welches vom Deutschen Windenergie-Institut (DEWI) nach den Richtlinien von measnet (International Network for Harmonised and Recognised Measurements in Wind Energy) geprüft worden ist. Es erfüllt die #40-Max-Standard-Eichfunktion gut. Für die Eichung der NRG-Ice-Free-II-Anemometer diente das Ice-Free-II-Anemometer mit der Serien-Nr. III27 als Vergleichsanemometer.

Im Windkanal wurde für die Windgeschwindigkeiten von 3, 8, 12 und 18 m/s während jeweils 40 s ein Vergleich zwischen Referenz- und Testsensor durchgeführt. Referenz- und Testmessung wurden für jede Geschwindigkeit und jeden Sensor direkt nacheinander durchgeführt, um gleiche Strömungsverhältnisse im Kanal sicherzustellen. Die Geschwindigkeiten wurden so gewählt, da die für Windkraftanlagen relevanten Werte in diesem Bereich liegen. Die Daten wurden mittels linearer Regression durch die Messpunkte ausgewertet. Der Vergleich mit der #40-Max-Standardkalibrationsfunktion

$$v = x \cdot 0.765 \text{ m} + 0.35 \text{ m/s}$$

bzw. der Ice-Free-II-Standardkalibrationsfunktion

$$v = x \cdot 0.541 \text{ m} + 0.80 \text{ m/s}$$

mit der Windgeschwindigkeit v [m/s] und den gemessenen Impulsen x [s^{-1}] wurde erreicht, indem der Achsenabschnitt der Regressionsgeraden durch 0.35 m/s (#40 Max) bzw. 0.8 m/s (Ice Free II) gelegt wurde.

Die Auswertung (Tab. 19) zeigt bei den #40-Max-Anemometern eine gute Übereinstimmung der einzelnen Kalibrationsfunktionen mit der Standardkalibration. Die maximale prozentuale Abweichung beträgt 0.34 % (Anemometer Serien-Nr. C012), was deutlich unterhalb dem von Lockhart und Bailey³ gefundenen Bereich von 1.9 - 2.4 % liegt. Das Anemometer mit der Serien-Nr. Got02 fiel ab Januar 2002 defekt aus und konnte deshalb nicht nachgeeicht werden.

³ Lockhart, T.J., Bailey, B.H., 1997: The Maximum Type 40 Anemometer Calibration Project.

Ebenfalls konnte der Sensor mit Serien-Nr. C003 wegen eines Defekts nicht nachgeeicht werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass die anderen #40-Max-Anemometer über die ganze Messperiode hinweg verlässlich gemessen haben. Die maximale prozentuale Abweichung beträgt bei den Ice-Free-II-Anemometer 4.6% (Anemometer Serien-Nr. II279, Tab. 20). Mit diesem Fehler wird die tatsächliche Abweichung wahrscheinlich überschätzt, weil der benutzte Windkanal für die Eichung der Ice-Free-Anemometer einen eher zu kleinen Durchmesser aufweist. Dadurch liegen die Anemometer wahrscheinlich nicht vollständig innerhalb der laminaren Luftströmung. Die Sensoren mit Serien-Nr. III28 und III29 konnten nicht nachgeeicht werden, weil sie noch in einem anderen Projekt verwendet werden. Die Auswertungen der Nacheichung werden nachgereicht.

Seriennummer Anemometer	Steigung Nacheichung [m]	Abweichung von 0.765 [%]
GR1	0.767	0.31
GR2	0.766	0.24
GR3	0.764	-0.13
M33	-	-
C012	0.768	0.34
C003	-	-
Mittelwert	0.766	0.19

Tab 19. Resultate der Nacheichung der eingesetzten #40-Max-Anemometer.

Seriennummer Anemometer	Steigung Nacheichung [m]	Abweichung von 0.541 [%]
III28	-	-
III29	-	-
II299	0.549	1.58
II297	0.566	4.62
Mittelwert	0.558	3.10

Tab 20. Resultate der Nacheichung der eingesetzten Ice-Free-II-Anemometer.

9.3 RECHENFEHLER

Während der ganzen Datenverarbeitung wurde mit Zahlen vom Typ "Float" (6 signifikante Stellen) gerechnet. Erst die Schlussresultate wurden gerundet. Fehler durch zu frühes Runden sind damit ausgeschlossen.

9.4 FEHLER DER BEREINIGTEN DATEN

9.4.1 Fehler durch individuelle Anemometer-Unterschiede

In einer Studie von Lockhart and Bailey⁴ wurde die Erkenntnis gewonnen, dass individuelle Kalibrationsfunktionen nicht unbedingt genauere Daten liefern als die Anwendung der von NRG empfohlenen Standardkalibrationsfunktion. Der Grund liegt darin, dass Unterschiede zwischen einer individuellen Kalibrationsfunktion und der NRG-Standardkalibrationsfunktion vorwiegend durch die unterschiedlichen Eichverfahren begründet sind, und nicht durch Unterschiede zwischen den einzelnen Anemometern.

Für die #40-Max-Anemometer wurde die aus der Nacheichung gewonnene maximale Abweichungen der Steigung von der Standardkalibrationsfunktion von <0.4 % (#40 Max) als Schätzung für die durch die individuellen Anemometerunterschiede verursachten Messfehler verwendet. Für die Ice-Free-II-Anemometer wurde die in der Auswertung beobachtete Abweichung von 4.6 % für relevante Werte über 3 m/s übernommen (Kapitel 5.1., Abb. 5). Der grosse Fehler der Ice-Free-II-Anemometer spielte in der weiteren Auswertung keine Rolle mehr, da die Ice-Free-II-Daten an die #40-Max-Daten angeglichen wurden (Kapitel 5.1).

9.4.2 Fehler durch Installation

Der ideale Anemometerstandort ist auf der Spitze des Mastes, wo die Anströmung aus allen Richtungen frei erfolgen kann. Bei der üblichen Montage auf Auslegern sind Windfeldstörungen sowohl durch den Mast als auch durch und den Ausleger selber möglich.

⁴

Lockhart, T.J., Bailey, B.H., 1997: The Maximum Type 40 Anemometer Calibration Project.

Die Unsicherheit kann zwischen 0.2 und 3.0 % betragen⁵. Weil die Ausrichtung der Sensoren sorgfältig erfolgte und die Hauptwindrichtungen berücksichtigt wurden, gehen wir von einem Fehler von 0.5 % aus.

9.4.3 Gesamter Fehler der bereinigten Daten

Der totale Fehler der Einzelmessungen setzt sich aus dem durch die Anemometer-Unterschiede verursachten Fehler (0.4 % für #40 Max bzw. 4.6 % für Ice Free II) und dem durch die Installation verursachten Fehler (0.5 %) zusammen. Die Fehler addieren sich zu einem totalen relativen Fehler der Einzelwerte (10-Minuten-Mittel) des bereinigten Datensatzes von 0.9 % (#40 Max) bzw. 5.1 % (Ice Free II).

9.5 FEHLER DER VOLLSTÄNDIGEN DATEN

Der vollständige Datensatz besteht aus Daten unterschiedlicher Herkunft nach folgender Priorität (Kap. 5.3):

1. #40-Max-Daten
2. #40-Max-korrigierte Ice-Free-II-Daten
3. Aus anderen Messniveaus extrapolierte Daten

Folgende Fehler gelten für diese Daten:

1. Es gilt der in Kapitel 8.4.3. angegebene Fehler von 0.9 %.
2. Abbildung 17 zeigt das Verhältnis der #40-Max-korrigierten Ice-Free-II-Daten mit den #40-Max-Daten auf 30 m. Die Standardabweichung ist ein gutes Mass für den mittleren Fehler. Sie liegt je nach Messniveau bei 3.7 bis 5.1 %. Hinzu kommt der systematische Fehler der #40-Max-Messung von 0.9 %. Es ergibt sich ein totaler Fehler von ca. 6 %.

⁵

Albers, A., Klug, H., 1999: Windmessung ist nicht gleich Windmessung. Erneuerbare Energien, Nr. 7

3. Wir wählten ein empirisches Verfahren, um den Fehler der extrapolierten Daten abzuschätzen:
Wir berechneten mit einer durch die zwei Messwerte auf 10 und 30 m (in eisfreien Zeiten) bestimmten Potenzfunktion die Windgeschwindigkeit auf 30 m und verglichen diese mit der tatsächlich auf 30 m gemessenen Windgeschwindigkeit. Abbildung 18 zeigt das Resultat für (relevante) Geschwindigkeiten von über 3 m/s. Die Standardabweichung ist ein gutes Mass für den mittleren Fehler und beträgt 6.0 %. Der Fehler der #40-Max-Messung pflanzt sich fort. Damit ergibt sich ein totaler Fehler von ca. 7 %.

Für welche Perioden welcher Fehler gilt, lässt sich aus Abbildung 2 lesen: Wo eine #40-Max-Messung besteht, gilt der erste Fehler, wo der #Max-40-Anemometer eingefroren war, aber der Ice-Free-II-Sensor mass, gilt der zweite Fehler. Sofern von einem anderen Messniveau extrapoliert werden musste, gilt der dritte Fehler.

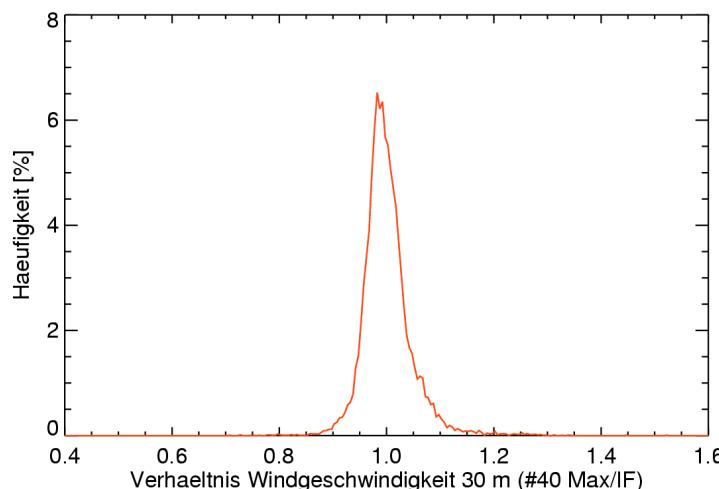


Abb 17. Verhältnis der #40-Max-Anemometer-Daten mit den korrigierten Ice-Free-II-Daten auf 30 m für (relevante) Geschwindigkeiten von über 3 m/s. Die Standardabweichung beträgt 0.051.

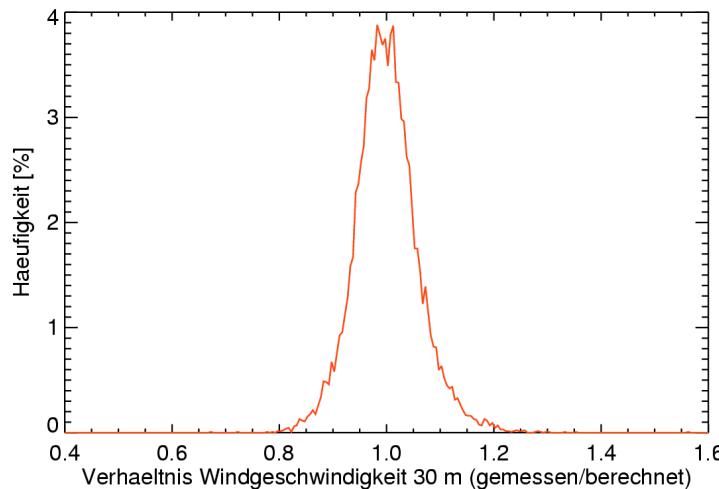


Abb 18. Verhältnis der gemessenen (#40-Max-Anemometer) mit den aus den Ice-Free-II-Daten von 10 m extrapolierten Windgeschwindigkeiten auf 30 m für (relevante) Geschwindigkeiten von über 3 m/s. Die Standardabweichung beträgt 0.060.

9.6 FEHLER VON MONATS- UND JAHRESMITTELWERTEN IN MESSHÖHEN

Für Monats- und Jahresmittelwerte gleichen sich die Fehler durch Korrektur der Ice-Free-II-Daten bzw. Extrapolation von den anderen Niveaus aus. Der Fehler beschränkt sich somit auf den systematischen Messfehler der #40-Max-Anemometer von 0.9 % für Jahresmittelwerte und für Monate mit vollständigen Daten.

Für die Monate September 2001 und Dezember 2001 (Ausfall geheizter Sensor auf 10 m, Tab. 5) sowie Mai 2002 und Juni 2002 (Stromausfall, Tab. 4) liegt der Fehler aufgrund der Messlücken leicht höher.

9.7 FEHLER DER EXTRAPOLATION AUF NABENHÖHE

Für die Fehler der Extrapolation auf Nabenhöhen machen wir keine Angaben, da im komplexen Gelände die Annahme einer Potenzfunktion mit zu vielen Unsicherheiten verbunden ist (Kapitel 7.4.2).

9.8 FEHLER DER ABSCHÄTZUNG DES LANGJÄHRIGEN WINDPOTENTIALS

Die benutzen Daten zur Abschätzung des Windpotentials decken mit 14 Jahren eine klimatologisch relevante Periode ab. Der daraus resultierende Fehler wurde für eine Messung von 1.5 Jahren in der Schweiz zu 7.5 % abgeschätzt⁶. Hinzu kommt der Fehler des Jahresmittelwerts der Messung von 0.9%. Der totale Fehler für die Abschätzung des langjährigen Windpotenzials beträgt somit 8.4 % in den Messhöhen 10, 20 und 30 m. Für die mittlere Leistungsdichte des Windes bedeutet dies einen Fehler von ca. 25 %. Für die Extrapolation auf Nabenhöhen kann aufgrund der Unsicherheit der Annahme einer Potenzfunktion im komplexen Gelände wiederum keine Angabe gemacht werden (Abs. 8.7).

9.9 ABWEICHUNGEN ZU ANDEREN MESSKONFIGURATIONEN

Die gewählten Mess- und Kalibrationsverfahren zeigen im Vergleich zu anderen Verfahren (z.B. Messung mit Sonic-Anemometern oder Messen der Standardkalibrationsfunktion in einem anderen Windkanal) systematische Fehler, die bei einer Ertragsprognose unbedingt zu berücksichtigen sind. Im besten Fall wurde die Leistungskennlinie der zukünftigen Windkraftanlage mit demselben Anemometer-Typ aufgenommen, der für die Windmessungen gebraucht wurde.

9.9.1 Abweichung durch Anemometer-Typ

Je nach Form der Anemometer-Schale werden nur die horizontalen Windkomponenten oder aber der Gesamtbetrag des Windgeschwindigkeitvektors inklusive Vertikalkomponenten erfasst. Die Unterschiede machen sich besonders bei geringen Windgeschwindigkeiten und über komplexem Terrain mit grossem Turbulenzanteil bemerkbar. Die typische Unsicherheit liegt im Bereich von 0.5 - 4 %⁷.

Die verwendeten Schalenstern-Anemometer vom Typ NRG #40 Max weisen eine stumpfe Kegelform auf.

⁶ METEOTEST, 1999: Planung von Windenergieanlagen – Leitfaden für die Schweiz.

⁷ Albers, A., Klug, H., Westermann, D. 2000: Outdoor Comparison of Cup Anemometers, Deutsches Win-denergie-Institut, Proceedings to DEWEK 2000.

Diese Form ist nur mässig auf Turbulenz sensibel. Die mögliche, systematische Überschätzung der horizontalen Windkomponente wird deshalb bei 0.5 - 2 % liegen.

Die Ice-Free-II-Anemometer sind hingegen auf die Vertikalkomponente des Windes sensibler, was sich beim Vergleich mit den #40-Max-Daten bemerkbar macht. Die Überschätzung der horizontalen Windkomponente wird deshalb bei gegen 6 % liegen.

9.9.2 Unterschiede Windkanal - Outdoor

Im Windkanal wird eine möglichst turbulenzfreie, laminare Strömung erzeugt. Die Anemometer in dieser Umgebung messen denn auch nur die horizontale Windkomponente, egal ob sie sensibel auf Turbulenz reagieren würden oder nicht (Abs. 8.9.1).

Bei Freilandbedingungen, besonders über komplexem Gelände, treten Turbulenzen auf. Die hier verwendete Standardkalibrationsfunktion für die NRG-Anemometer wurde mittels Kalibrationen auf einem fahrenden Auto bei ruhigen Verhältnissen gewonnen. Sie entspricht deshalb eher den Messbedingungen als eine im Windkanal erlangte Standardkalibrationsfunktion.

9.9.3 Windscherung

Im Falle eines Windgeschwindigkeitsunterschiedes zwischen der rechten und linken Seite eines Anemometers entsteht Windscherung. Es können dadurch Ungenauigkeiten entstehen, die bei einer guten Installation zwischen 0.2 und 0.5 % betragen⁸.

⁸ Hunter, R.S., 1999: Wind Speed Measurement and Use of Cup Anemometry.

9.9.4 Overspeeding in Turbulenz

Eine weitere Unsicherheit ergibt sich aus der Eigenschaft der Anemometer, auf eine Windgeschwindigkeitserhöhung schneller zu reagieren als auf ein Abflauen des Windes.

Simulationen haben jedoch gezeigt, dass dieses sogenannte "overspeeding" im pessimistischsten Falle zu einer Überschätzung von 0.2% führen kann und daher eher eine untergeordnete Rolle spielt⁹. Andererseits hat ein Versuch von *METEOTEST* ergeben, dass der Effekt des Overspeeding durchaus ausgeprägter sein kann und zu grösseren Überschätzungen führt.

⁹ Albers, A., Klug, H., Westermann, D. 2000: Outdoor Comparison of Cup Anemometers, Deutsches Windenergie-Institut, Proceedings to DEWEK 2000.



10. WASP - MODELLIERUNG

10.1 VORGEHEN

Um für die einzelnen WKA-Standorte eine detaillierte Windprognose erstellen zu können, haben wir den gesamten Perimeter des Grimselpasses mit WAsP modelliert. WAsP ist im Binnenland grundsätzlich mit Vorsicht zu geniessen, da das Programm ursprünglich für Küstenregionen mit wenig Topographie entwickelt wurde. Wir erwarten, dass WAsP die Windverhältnisse überschätzt, da diese Software nicht in der Lage ist, Strömungsabrisse zu beschreiben. In der vorliegenden Topographie treten aber, vor allem in Kretenlagen, mit Sicherheit Strömungsabrisse auf, so dass die WAsP-Resultate zu hoch ausfallen werden.

Das vorliegende Windgutachten haben wir auf Basis von WindPro erstellt. Da wir keine Ergänzungsstation auf dem Grimselpass installiert haben, konnten wir bislang keine richtige Kalibrierung des Modells durchführen. Dies wollen wir aber im kommenden Sommer mit erneuten Messungen nachholen. Die bislang vorliegenden Ertragsprognosen müssen deshalb mit einem grosszügigen Sicherheitsfaktor betrachtet werden. Die Windstatistik wurde aus den 30-m-Messungen erstellt. Danach wurde eine Ressourcenkarte (50 m und 70 m Höhe) mit den langjährig abgeglichenen Winddaten gerechnet. Darauf aufbauend rechneten wir eine Ertragsprognose für den geplanten Windpark, basierend auf dem Vorprojekt.

10.1.1 Kartenmaterial

Die Datenerhebung wurde auf Basis der Karte im Massstab 1:25'000 vorgenommen. Die Papierkarte wurde eingescannt und die Höhenlinien (mit 20 m Äquidistanz) wurden im unmittelbaren Projektgebiet aus dem Digitalen Höhen Modell, benutzt mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie, gewonnen. Die Rauhigkeitslängen wurden im Feld aufgenommen und kartiert. Anschliessend wurden sie manuell in WindPro dem digitalen Modell gefüttert.

10.1.2 Winddaten

Für die WAsP-Modellierung wurden die aufbereiteten Daten unserer Windmessung verwendet.

10.2 BERECHNUNGEN

10.2.1 Methodik

Sämtliche Daten sind im Programm WindPro verarbeitet worden. Für die Berechnungen wurden sowohl das digitale Höhenmodell als auch die Rauhigkeitskarte, jedoch keine Hindernisse verwendet. Die Orographie wurde via digitalem Höhenmodell berücksichtigt.

Wir berechneten eine Windstatistik mit den langjährig abgeglichenen Winddaten (1 Jahr Winddaten) und rechneten grossflächig über den gesamten Projektperimeter eine langjährige Ressourcenkarte. Damit wiederum haben wir eine Ertragsprognose des geplanten Windenergieprojektes gerechnet.

10.2.2 Ressourcenkarte

Die Ressourcenkarte wurde zuerst mit einer Rasterweite von 1'000 Metern gerechnet, danach mit Rasterweiten von 25 Metern. Da der Perimeter recht gross ist, war diese Berechnung mit grossem Zeitaufwand verbunden, und das „rsf- file“ wurde entsprechend gross und unhandlich zur Handhabung. Die Daten wurden auf einer Referenzhöhe von 50 und 70 Metern über Grund berechnet, die Ergebniskarte ist im Anhang beigelegt.

10.3 ERGEBNISSE

Mit den Winddaten des 30-m-Levels des Standortes des 30 m Messmastes wurde eine WAsP-Windstatistik erstellt. Mit der Windstatistik wurde dann eine Ressourcenkarteberechnung durchgeführt.

10.3.1 Resultate

Die Resultate sind im Anhang WAsP-Modellierung zu finden. Wie auf der Übersichtskarte (Rasterweite 25 Meter) zu sehen ist, sind die Windverhältnisse auf der Grimselpasshöhe variierend (alle Windkraftanlagen sind in diesem Gebiet platziert). Die mittleren Windgeschwindigkeiten auf 50 m Höhe liegen im gesamten Projektgebiet zwischen 4.5 und 5.5 m/s, was bislang nicht als sehr erfreuliche Werte für eine Windparkrealisierung zu bezeichnen ist. Weitere Messungen müssen über diesen Aspekt aber noch Klarheit schaffen.

10.3.2 Ertragsberechnung

Die Ertragsaussichten für das Grimselpassprojekt sind für ein Projekt im alpinen Bereich ziemlich enttäuschend: Der durchschnittliche Jahresertrag des Projektes beläuft sich auf ca. 1'400 MWh/a pro Anlage, was ungefähr 1'000 – 1'100 Vollaststunden pro Anlage entspricht.

11. ANFORDERUNGEN AN DIE EINZUSETZENDEN WKA

Die für den Grimsel einzusetzenden Windkraftanlagen müssen v.a. in Bezug auf die speziellen klimatischen und topografischen Gegebenheiten ausgewählt werden. Einige wichtige Punkte hierzu sollen im folgenden aufgegriffen werden.

11.1 GENERELLES

Auch wenn die Windverhältnisse auf dem Grimselpass verglichen mit dem schweizerischen Windgeschehen gut sein solten, so handelt es sich doch um einen Binnenlandstandort, der Überlegungen zum Verhältnis zwischen Rotorfläche und Generatorgröße nötig macht. Bei gleicher überstrichener Rotorfläche könnte sich ein kleinerer Generator bzw. bei gleich grossem Generator eine grössere Rotorfläche als wirtschaftlicher herausstellen. Die längeren Rotorblätter müssten natürlich auch die gebirgsspezifischen Belastungen (siehe unten) aushalten können.

Aufgrund der relativ geringen Luftdichte von rund 1.0 kg/m^3 (im Gegensatz zu 1.25 kg/m^3 auf Meereshöhe) ist die zu erwartende Energieproduktion rund 15 - 20 % tiefer als an einem windangebotsmässig vergleichbaren Standort in Küstennähe. Die hohen Preise, welche in der Schweiz für Windstrom bezahlt werden, erlauben aber einen rentablen Betrieb auch mit weniger ausgewiesenen Vollaststunden.

11.2 TURBULENZ

Wenn man die Turbulenzrose am Standort Grimsel in den Höhen 10, 17 und 30 m über Grund betrachtet, kann man sofort bemerken, dass der Verlauf der verschiedenen Linien ungefähr gleich ist, nur die Grössenordnung der Peaks ist unterschiedlich gross. Die Turbulenzintensität wird generell mit der Höhe kleiner, aber auf 30 m Höhe am Grimsel ist sie trotzdem noch in der Grössenordnung derjenigen auf 10 m. Aus Tabelle 12 (Analyse der Turbulenzintensität) kann abgeleitet werden, dass bei Geschwindigkeiten grösser als 4-5 m/s eine Turbulenzintensität grösser als 0.2 eine Seltenheit darstellt.

Trotz den erfreulich tiefen Turbulenzwerten in Anbetracht des Gebirgsumfeldes muss beachtet werden, dass der Messturm auf dem relativ ebenen Plateau der Passhöhe steht und demzufolge Nachbar-Anlagenstandorte an exponierteren Stellen sicher grösseren Belastungen durch Turbulenzen und Vertikalströmungen ausgesetzt sein werden.



11.3 BÖENSPITZEN

Die maximal gemessene 2-sec Böenspitze auf 30 m betrug 36.6 m/s. Während somit gemäss den zu erwartenden mittleren Windgeschwindigkeiten eher eine Typenklasse III (nach GL) zu erwarten ist, muss in Bezug auf die Böen mit Verhältnissen der Typenklasse I gerechnet werden. Dies ist bei der Wahl der Windanlage zu berücksichtigen.

11.4 VEREISUNG

Natürlich stellt die spezielle Ausgangssituation (Lage in den Alpen auf rund 2'180 m über Meer) auch bezüglich der Vereisung spezielle Anforderungen an die WKA. Eine detaillierte Auswertung unserer Temperaturmessungen ist im Kapitel 7.1 zu finden. Die tiefe mittlere Temperatur von - 0.2° C und das Minimum von - 20.9° C machen aber genügende Vorkehrungen für die Verhinderung von Vereisungen der Rotorflächen unabdingbar.

Als Vergleich kann uns auch der nahegelegene Standort Güttsch dienen, wo eine Klimastation seit langem besteht. An dieser Station wird das langjährige Vereisungsrisiko zu rund 60 Tagen pro Jahr geschätzt (im Jahr 2001 wurden sogar 129 Frosttage gemessen).

Die Problematik der Rotorblattheizung muss auch unter dem Aspekt der Versorgungssicherheit betrachtet werden. Die Hochspannungsleitung zur Netzeinspeisung führt durch gebirgiges Gelände und kann daher in Bezug auf Naturgefahren (Bergsturz, Lawinen) nicht die selbe Verfügbarkeit aufweisen wie eine Flachlandleitung. Konzepte zum Betrieb bzw. dem Überleben der Anlagen bei Leitungsunterbrüchen werden nötig sein, v.a. was die Versorgung der Blattheizungen betrifft.

11.5 ZUFAHRBARKEIT

Die Zugänglichkeit der Anlagen ist durch die langen Winter eingeschränkt. Die Wintersperre der Passstrasse dauert in der Regel von Mitte Oktober bis Mitte Mai. In schneearmen Wintern kann die Passstrasse mit Bewilligung auch in der Sperrzeit befahren werden, allerdings wird vom Strassen-dienst keine Räumung der Schneemassen vorgenommen.

Per Helikopter können Transporte bis zu rund 4.5 Tonnen während des ganzen Jahres unternommen werden. Von Vorteil wäre demzufolge, wenn möglichst viele Ersatzteile, eventuell sogar die Rotorblätter ohne grossen Kranwagen montiert werden könnten.



11.6 BODENBESCHAFFENHEIT

Der Untergrund besteht durchweg aus massivem Fels, in Senken und wenig exponierten Stellen bedeckt mit geringmächtigen hochalpinen Böden. Aus ökologischen und wirtschaftlichen Gründen muss eine Felsfundation mit Ankern o.ä. in Betracht gezogen werden. Die hierfür erforderlichen geotechnischen Abklärungen werden durchgeführt, sobald mehr Sicherheit im Projekt vorhanden ist.



12. AUSBLICK

Die durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass am Messstandort die erwarteten Windgeschwindigkeiten nicht erreicht werden konnten. Da die Standorte der vorgesehenen Windanlagen jedoch weiter vorne auf einer Krete angedacht sind, müssen im kommenden Jahr dort noch weitere Messungen vorgenommen werden, damit konkretere Aussagen zu den effektiven Windverhältnissen am Standort der jeweiligen Anlagen auf Nabenhöhe gemacht werden können.

Zum heutigen Zeitpunkt können wir deshalb noch nicht sagen, ob am Standort Grimsel ein Windenergieprojekt auch sinnvoll und wirtschaftlich umgesetzt werden kann. Wir werden die damit verbundenen Zusatzarbeiten aber weiter vorantreiben, um dann nach Vorliegen weiterer Windmesswerte sowie eines adaptierten Windmodells zu entscheiden, ob das Projekt auch umgesetzt werden soll.

NEK UMWELTTECHNIK AG

Dr. Ch. Kapp

P. Schwer

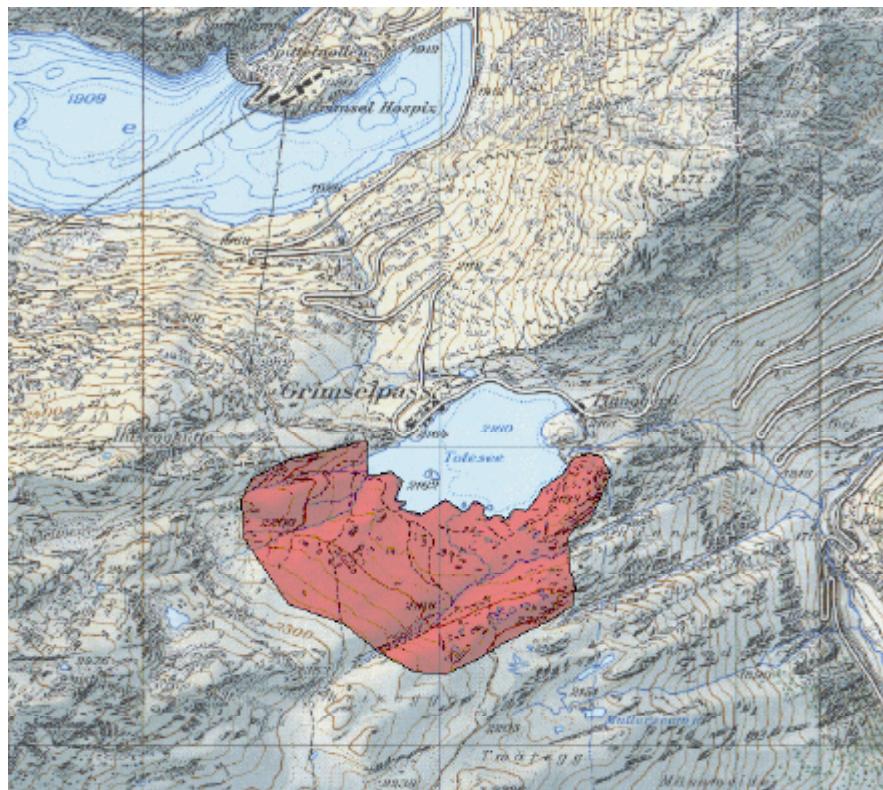
Zürich, 15. November 2002 Kp/Ps/Br/re

I:\20395\Windpotentialstudie\Grimsel, Schweiz\Berichte\Schlussbericht NEK\20395_Schlussbericht_Bfe_021115defkp.doc



13. ANHANG

13.1 PROJEKTZONE GRIMSEL PASSHÖHE



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie (JA022180)



13.2 WINDPRO-AUSWERTUNGEN 30 M MESSMAST

Projekt:

20395: Windpotentialstudie Grimsel, Schweiz

Beschreibung:

Daten aus Datei(en)

G:\Winddaten\Schweiz\Grimsel\Schlussbericht Meteotest\daten\grim_lj_ohne_999.dat

Ausdruck/Seite

19.11.2002 14:40 / 1

Lizenziert Anwender:

NEK Umwelttechnik AG

Clausiusstrasse 41

CH-8033 Zürich

+41 1 261 07 07

Berechnet:

19.11.2002 14:40/

METEO-Daten-Bericht, Höhe: 10.0

Name des METEO-Objektes: 30m Mast

Datenanfang: 01.12.2000 10:20 Datenende: 30.6.2002 20:50 Meßwerte: 80781 Meßwerte pro Tag: 144 Verfügbarkeit: 97%

Tag	12.00	01.01	02.01	03.01	04.01	05.01	06.01	07.01	08.01	09.01	10.01	11.01	12.01	01.02	02.02	03.02	04.02	05.02	06.02	07.02
1	(82)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
2	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
3	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
4	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
5	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(1)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
6	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(0)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
7	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(143)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
8	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(12)	144
9	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(0)	144
10	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(0)	144
11	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(0)	144
12	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(0)	144
13	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(0)	144
14	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(62)	144
15	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
16	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
17	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(126)	144	144	(1)	144	144	144	144	144	144	144
18	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(0)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
19	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(143)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
20	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
21	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
22	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
23	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(92)	144
24	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(0)	144
25	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(0)	144
26	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(121)	(143)	144	144	144	144	144	144	144	(98)	144
27	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(143)	144
28	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
29	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
30	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(126)	144
31	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
%	100	100	100	100	100	100	100	(100)	100	(86)	(100)	100	(94)	100	100	100	100	(79)	(91)	(0)

Projekt:

20395: Windpotentialstudie Grimsel, Schweiz

Beschreibung:

Daten aus Datei(en)
 G:\Winddaten\Schweiz\Grimsel\Schlussbericht
 Meteotest\daten\grim_lj_ohne_999.dat

Ausdruck/Seite:

19.11.2002 14:40 / 2

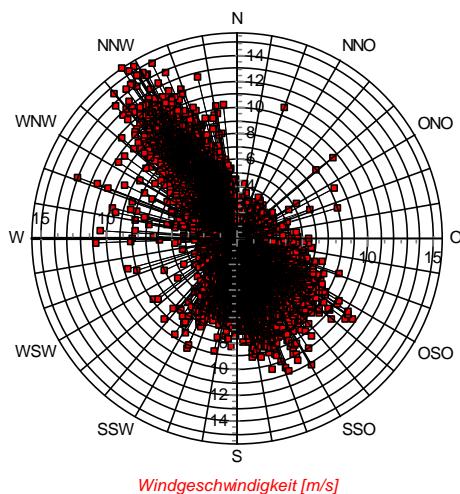
Lizenziert Anwender:

NEK Umwelttechnik AG
 Clausiusstrasse 41
 CH-8033 Zürich
 +41 1 261 07 07

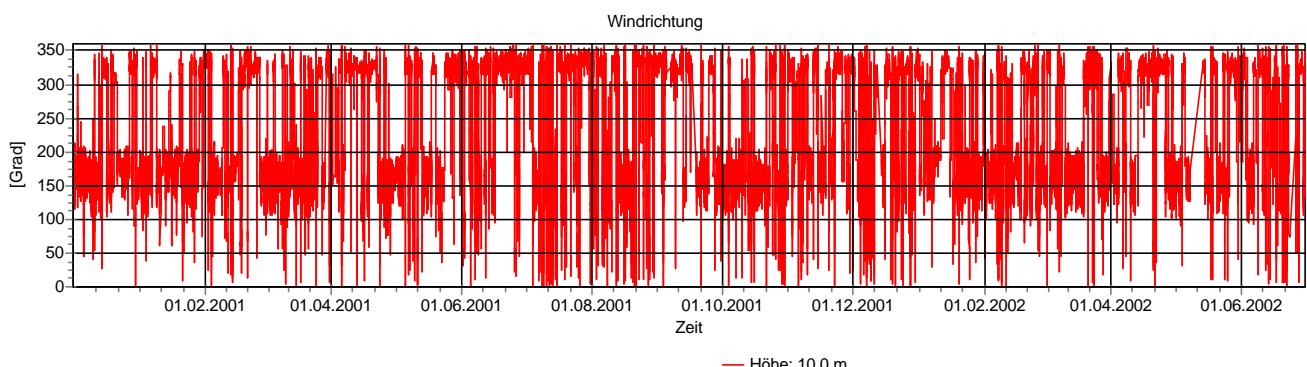
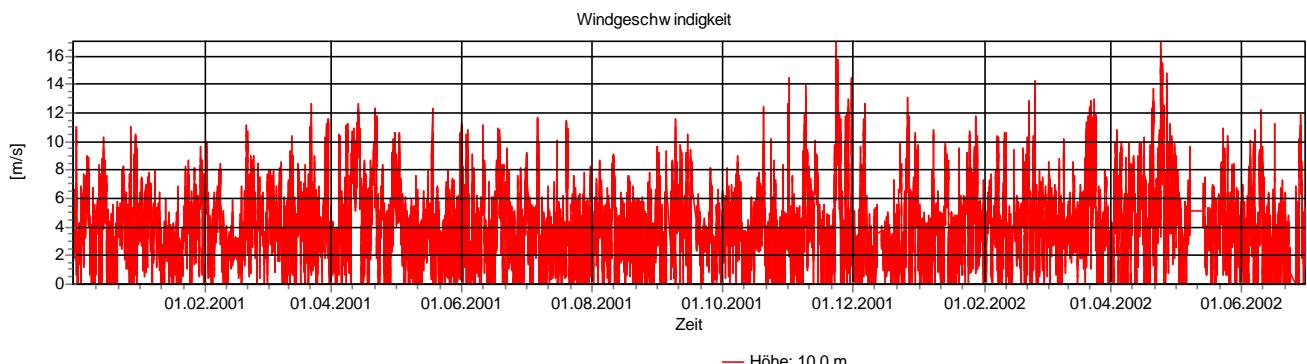
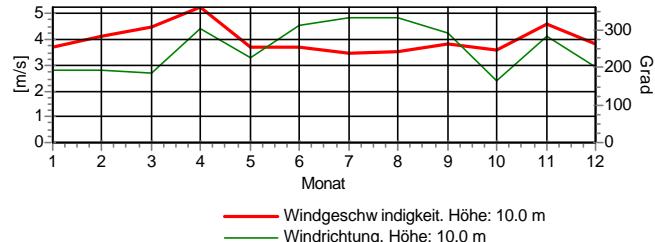
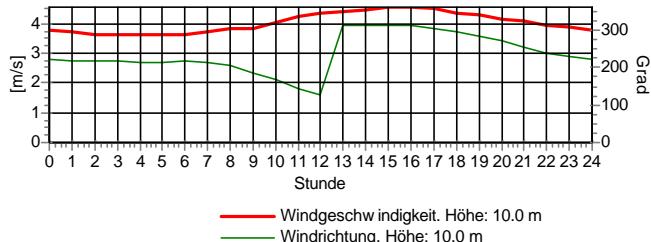
Berechnet:
 19.11.2002 14:40/

METEO-Daten-Bericht, Höhe: 10.0

Name des METEO-Objektes: 30m Mast

**Monatliche Mittelwerte der Windgeschwindigkeit in m/s**

Monat	2000	2001	2002	Mittel
Jan	3.7	3.7	3.7	3.7
Feb	3.9	4.3	4.1	4.1
Mär	4.5	4.5	4.5	4.5
Apr	5.0	5.5	5.3	5.3
Mai	3.6	3.9	3.7	3.7
Jun	3.8	3.7	3.7	3.7
Jul	3.5		3.5	3.5
Aug	3.5		3.5	3.5
Sep	3.8		3.8	3.8
Okt	3.6		3.6	3.6
Nov		4.6		4.6
Dez	4.1	3.5	3.8	3.8
Mittel	4.1	3.9	4.3	4.0



Projekt:

20395: Windpotentialstudie Grimsel, Schweiz

Beschreibung:

Daten aus Datei(en)
 G:\Winddaten\Schweiz\Grimsel\Schlussbericht
 Meteotest\daten\grim_lj_ohne_999.dat

Ausdruck/Seite:

19.11.2002 14:40 / 3

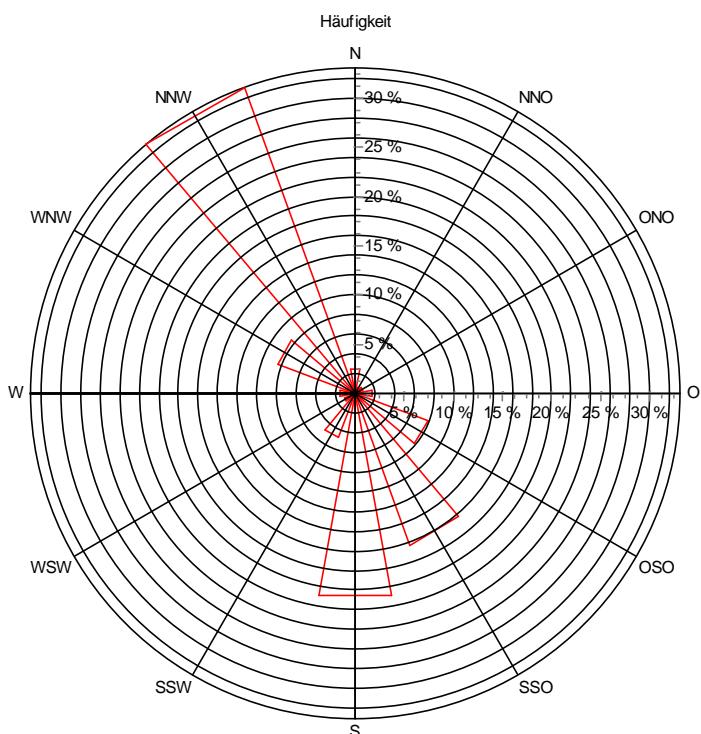
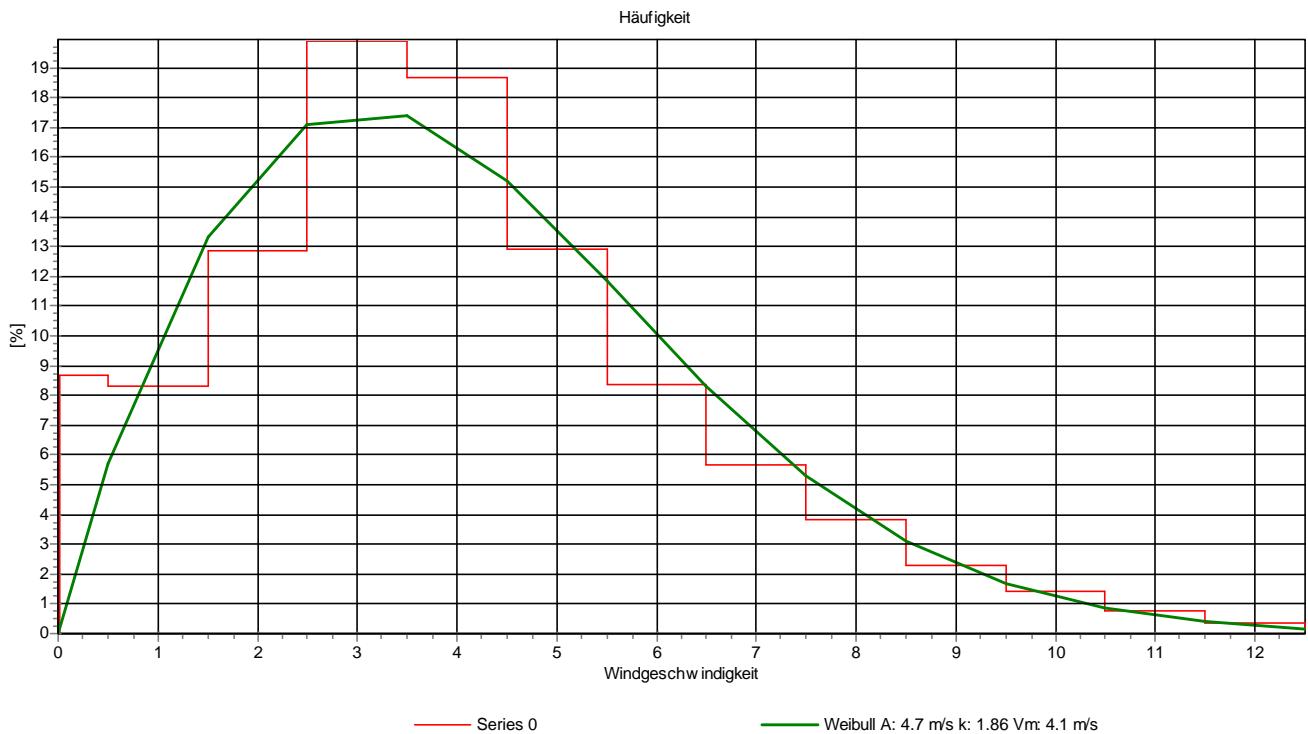
Lizenziert Anwender:

NEK Umwelttechnik AG
 Clausiusstrasse 41
 CH-8033 Zürich
 +41 1 261 07 07

Berechnet:
 19.11.2002 14:40/

METEO-Daten-Bericht, Höhe: 10.0

Name des METEO-Objektes: 30m Mast



Projekt:

20395: Windpotentialstudie Grimsel, Schweiz

Beschreibung:

Daten aus Datei(en)
 G:\Winddaten\Schweiz\Grimsel\Schlussbericht
 Meteotest\daten\grim_lj_ohne_999.dat

Ausdruck/Seite:

19.11.2002 14:40 / 4

Lizenziert Anwender:

NEK Umwelttechnik AG
 Clausiusstrasse 41
 CH-8033 Zürich
 +41 1 261 07 07

Berechnet:
 19.11.2002 14:40/

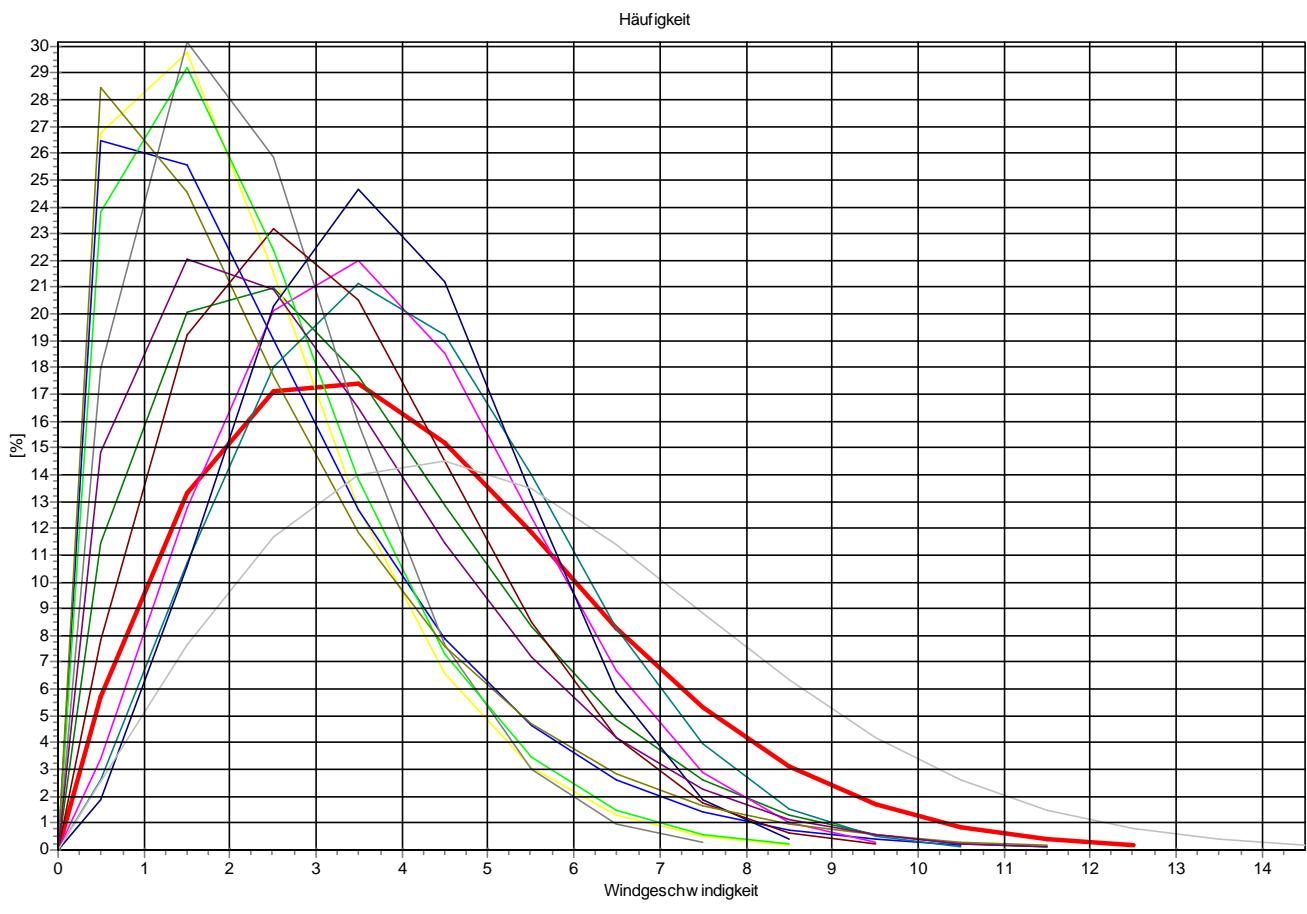
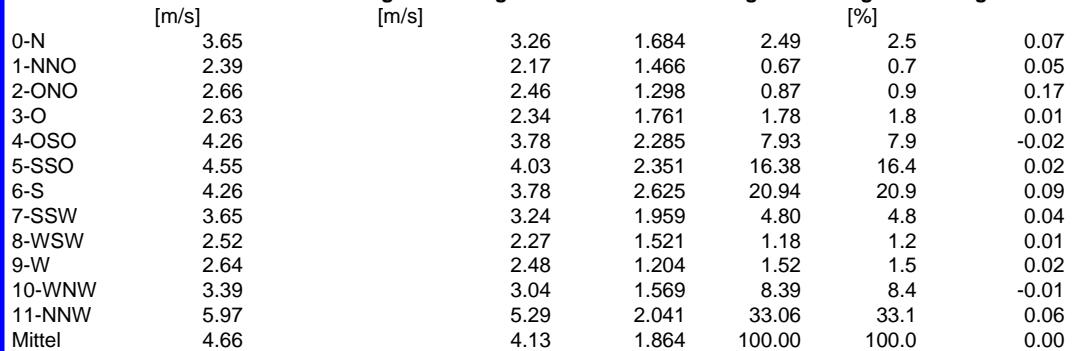
METEO-Daten-Bericht, Höhe: 10.0

Name des METEO-Objektes: 30m Mast

Weibull-Daten

k-Parameter Korrekturwert: 0.0080/m

Sektor	A-Parameter [m/s]	Mittlere Windgeschwindigkeit [m/s]	k-Parameter	Häufigkeit [%]	Häufigkeit [%]	Windgradient
0-N	3.65	3.26	1.684	2.49	2.5	0.07
1-NNO	2.39	2.17	1.466	0.67	0.7	0.05
2-ONO	2.66	2.46	1.298	0.87	0.9	0.17
3-O	2.63	2.34	1.761	1.78	1.8	0.01
4-OSO	4.26	3.78	2.285	7.93	7.9	-0.02
5-SSO	4.55	4.03	2.351	16.38	16.4	0.02
6-S	4.26	3.78	2.625	20.94	20.9	0.09
7-SSW	3.65	3.24	1.959	4.80	4.8	0.04
8-WSW	2.52	2.27	1.521	1.18	1.2	0.01
9-W	2.64	2.48	1.204	1.52	1.5	0.02
10-WNW	3.39	3.04	1.569	8.39	8.4	-0.01
11-NNW	5.97	5.29	2.041	33.06	33.1	0.06
Mittel	4.66	4.13	1.864	100.00	100.0	0.00



Gesamt A: 4.7 m/s k: 1.86 Vm: 4.1 m/s	N A: 3.7 m/s k: 1.68 Vm: 3.3 m/s	NNO A: 2.4 m/s k: 1.47 Vm: 2.2 m/s
ONO A: 2.7 m/s k: 1.30 Vm: 2.5 m/s	O A: 2.6 m/s k: 1.76 Vm: 2.3 m/s	OSO A: 4.3 m/s k: 2.28 Vm: 3.8 m/s
SSO A: 4.5 m/s k: 2.35 Vm: 4.0 m/s	S A: 4.3 m/s k: 2.63 Vm: 3.8 m/s	SSW A: 3.6 m/s k: 1.96 Vm: 3.2 m/s
WSW A: 2.5 m/s k: 1.52 Vm: 2.3 m/s	W A: 2.6 m/s k: 1.20 Vm: 2.5 m/s	WNW A: 3.4 m/s k: 1.57 Vm: 3.0 m/s
NNW A: 6.0 m/s k: 2.04 Vm: 5.3 m/s		

Projekt:

20395: Windpotentialstudie Grimsel, Schweiz

Beschreibung:

Daten aus Datei(en)

G:\Winddaten\Schweiz\Grimsel\Schlussbericht Meteotest\daten\grim_lj_ohne_999.dat

Ausdruck/Seite

19.11.2002 14:39 / 1

Lizenziert Anwender:

NEK Umwelttechnik AG

Clausiusstrasse 41

CH-8033 Zürich

+41 1 261 07 07

Berechnet:

19.11.2002 14:39/

METEO-Daten-Bericht, Höhe: 20.0

Name des METEO-Objektes: 30m Mast

Datenanfang: 01.12.2000 10:20 Datenende: 30.6.2002 20:50 Meßwerte: 80781 Meßwerte pro Tag: 144 Verfügbarkeit: 97%

Tag	12.00	01.01	02.01	03.01	04.01	05.01	06.01	07.01	08.01	09.01	10.01	11.01	12.01	01.02	02.02	03.02	04.02	05.02	06.02	07.02
1	(82)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
2	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
3	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
4	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
5	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(1)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
6	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(0)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
7	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(143)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
8	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(12)	144
9	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(0)	144
10	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(0)	144
11	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(0)	144
12	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(0)	144
13	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(0)	144
14	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(62)	144
15	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
16	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
17	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(126)	144	144	(1)	144	144	144	144	144	144	144
18	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(0)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
19	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(143)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
20	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
21	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
22	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
23	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(92)	144
24	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(0)	144
25	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(0)	144
26	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(121)	(143)	144	144	144	144	144	144	144	(98)	144
27	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(143)	144
28	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
29	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
30	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(126)	144
31	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
%	100	100	100	100	100	100	100	(100)	100	(86)	(100)	100	(94)	100	100	100	100	(79)	(91)	(0)

Projekt:

20395: Windpotentialstudie Grimsel, Schweiz

Beschreibung:

Daten aus Datei(en)
 G:\Winddaten\Schweiz\Grimsel\Schlussbericht
 Meteotest\daten\grim_lj_ohne_999.dat

Ausdruck/Seite:

19.11.2002 14:39 / 2

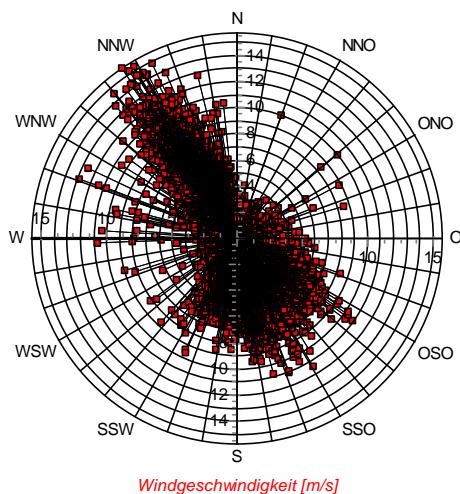
Lizenziert Anwender:

NEK Umwelttechnik AG
 Clausiusstrasse 41
 CH-8033 Zürich
 +41 1 261 07 07

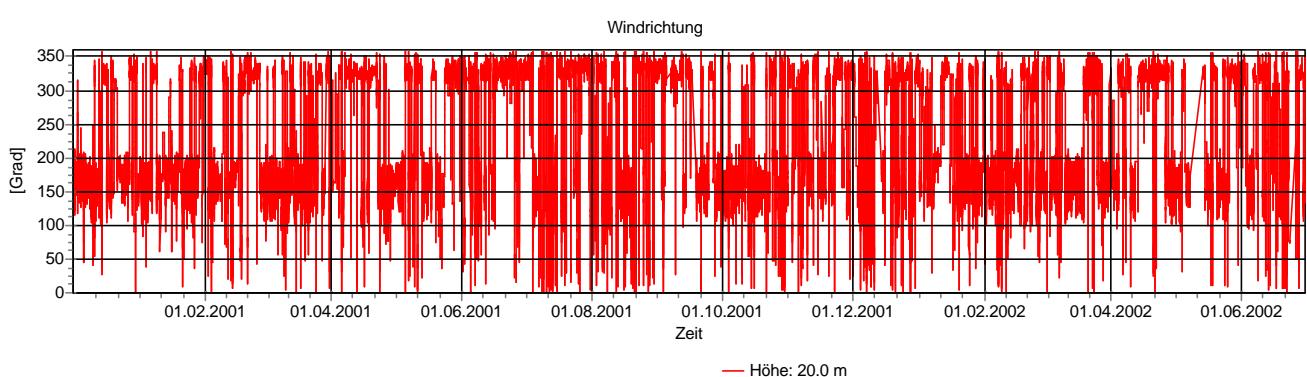
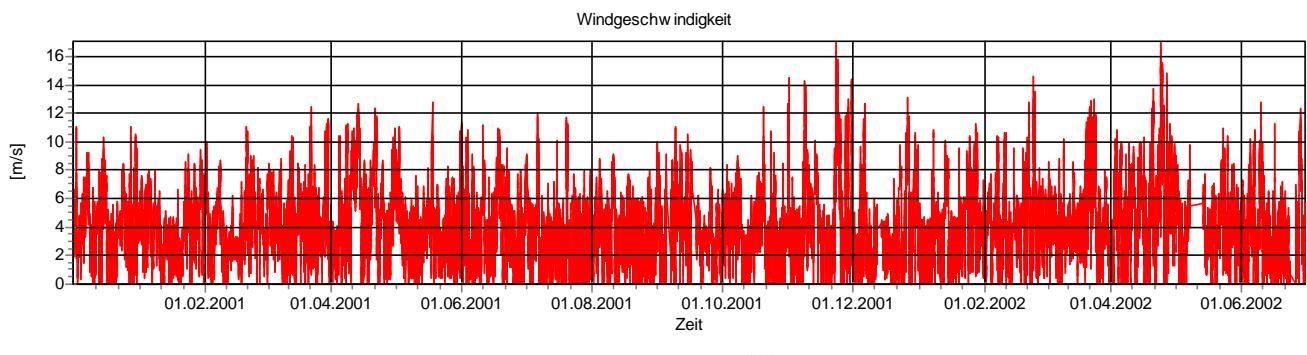
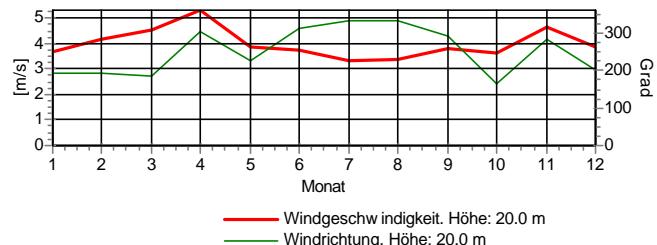
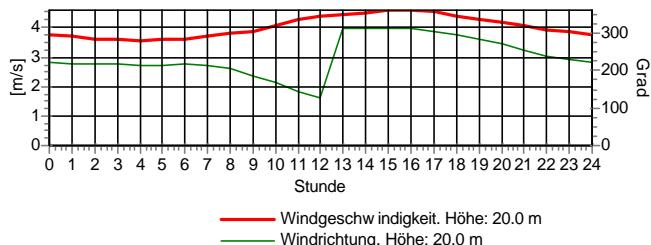
Berechnet:
 19.11.2002 14:39/

METEO-Daten-Bericht, Höhe: 20.0

Name des METEO-Objektes: 30m Mast

**Monatliche Mittelwerte der Windgeschwindigkeit in m/s**

Monat	2000	2001	2002	Mittel
Jan	3.8	3.6	3.7	
Feb	3.9	4.4	4.1	
Mär	4.5	4.6	4.5	
Apr	5.0	5.6	5.3	
Mai	3.8	3.9	3.8	
Jun	3.8	3.7	3.7	
Jul	3.3		3.3	
Aug	3.4		3.4	
Sep	3.8		3.8	
Okt	3.6		3.6	
Nov		4.6	4.6	
Dez	4.1	3.5	3.8	
Mittel	4.1	3.9	4.3	4.0



Projekt:

20395: Windpotentialstudie Grimsel, Schweiz

Beschreibung:

Daten aus Datei(en)
 G:\Winddaten\Schweiz\Grimsel\Schlussbericht
 Meteotest\daten\grim_lj_ohne_999.dat

Ausdruck/Seite:

19.11.2002 14:39 / 3

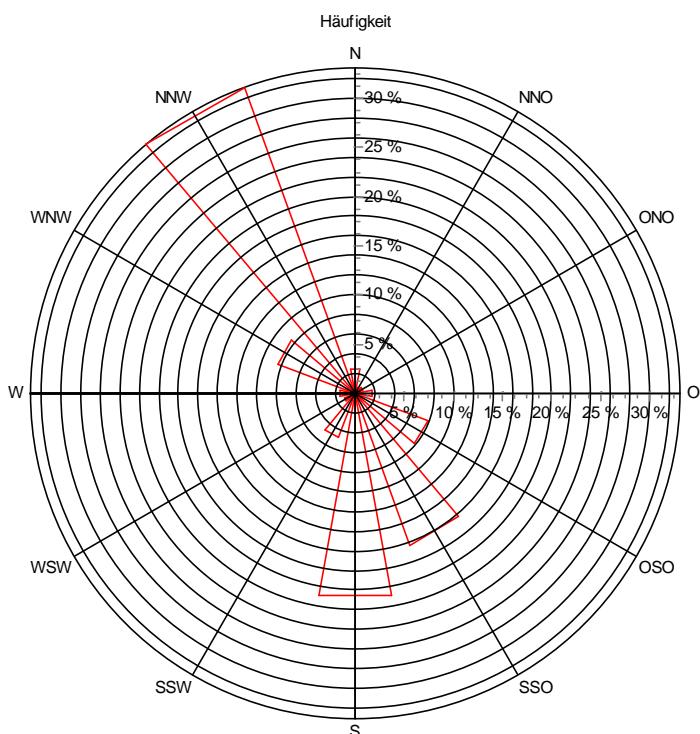
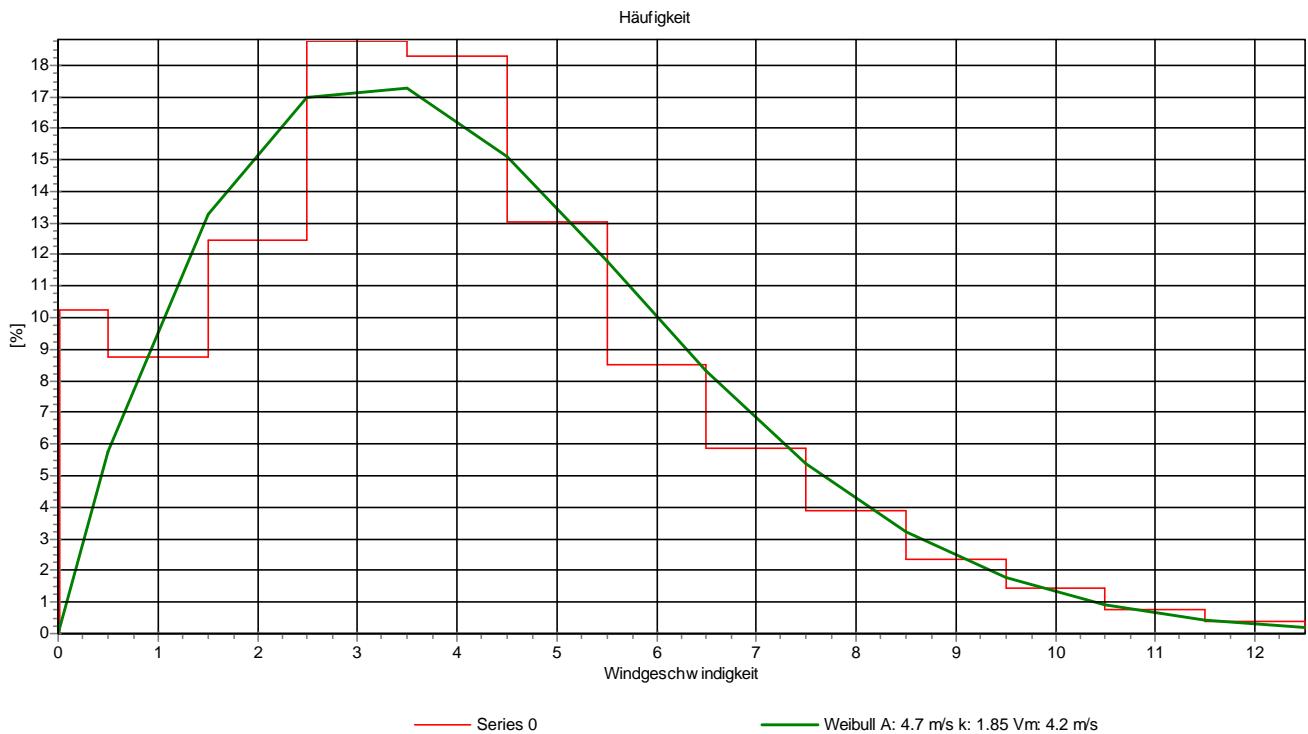
Lizenziert Anwender:

NEK Umwelttechnik AG
 Clausiusstrasse 41
 CH-8033 Zürich
 +41 1 261 07 07

Berechnet:
 19.11.2002 14:39/

METEO-Daten-Bericht, Höhe: 20.0

Name des METEO-Objektes: 30m Mast



Projekt:

20395: Windpotentialstudie Grimsel, Schweiz

Beschreibung:

Daten aus Datei(en)
 G:\Winddaten\Schweiz\Grimsel\Schlussbericht
 Meteotest\daten\grim_lj_ohne_999.dat

Ausdruck/Seite:

19.11.2002 14:39 / 4

Lizenziert Anwender:

NEK Umwelttechnik AG
 Clausiusstrasse 41
 CH-8033 Zürich
 +41 1 261 07 07

Berechnet:
 19.11.2002 14:39/

METEO-Daten-Bericht, Höhe: 20.0

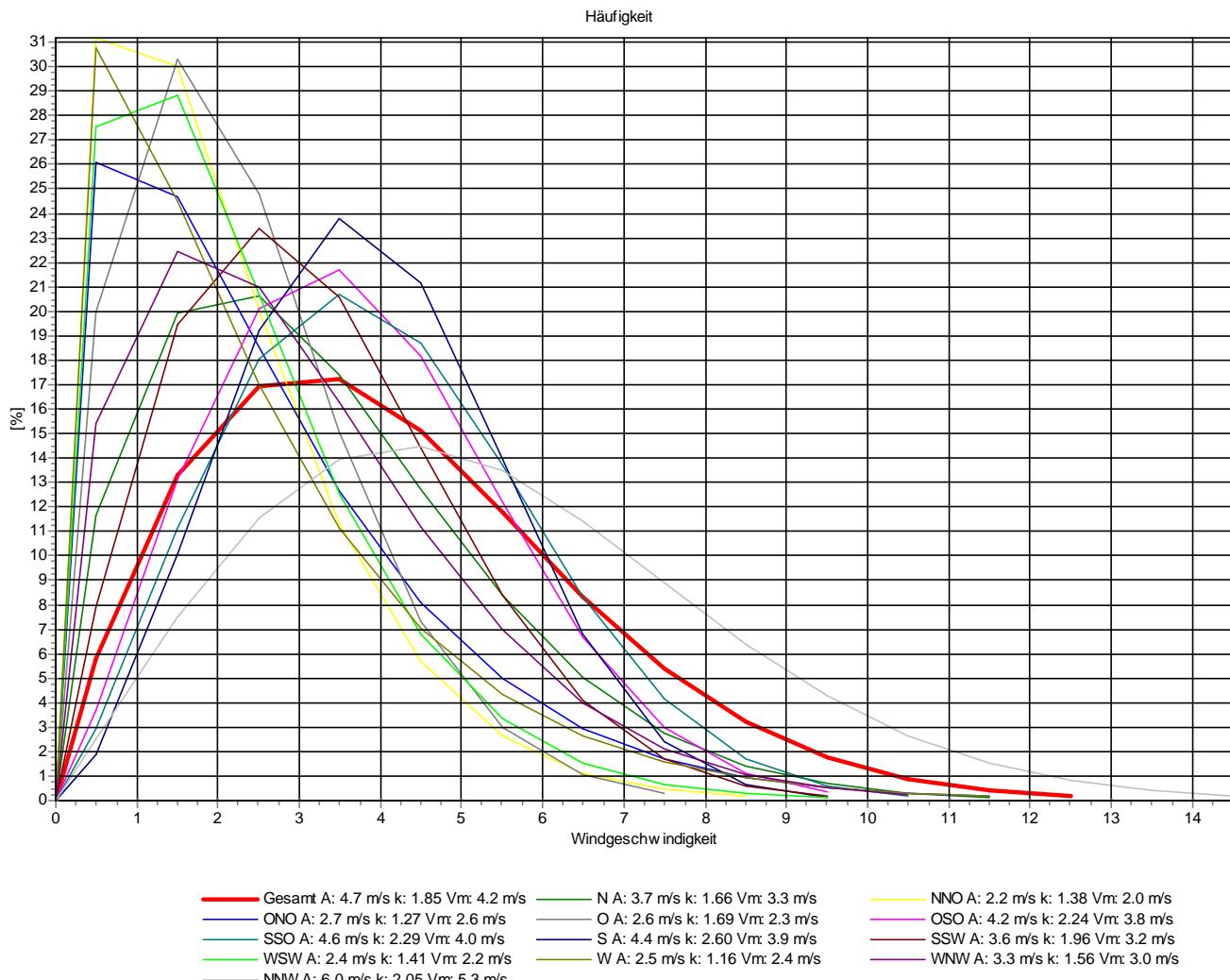
Name des METEO-Objektes: 30m Mast

Weibull-Daten

k-Parameter Korrekturwert: 0.0080/m

Sektor	A-Parameter [m/s]	Mittlere Windgeschwindigkeit [m/s]	k-Parameter	Häufigkeit [%]	Häufigkeit [%]	Windgradient
0-N	3.68	3.29	1.660	2.49	2.5	-0.01
1-NNO	2.21	2.02	1.382	0.67	0.7	-0.18
2-ONO	2.75	2.55	1.266	0.87	0.9	-0.03
3-O	2.57	2.29	1.689	1.78	1.8	-0.05
4-OSO	4.25	3.76	2.241	7.93	7.9	0.00
5-SSO	4.55	4.03	2.288	16.38	16.4	-0.01
6-S	4.37	3.88	2.599	20.94	20.9	0.03
7-SSW	3.62	3.21	1.960	4.80	4.8	-0.02
8-WSW	2.41	2.19	1.408	1.18	1.2	-0.11
9-W	2.50	2.38	1.156	1.52	1.5	-0.07
10-WNW	3.33	2.99	1.556	8.39	8.4	-0.04
11-NNW	6.00	5.32	2.050	33.06	33.1	0.01
Mittel	4.68	4.16	1.853	100.00	100.0	0.00

Sektor	A-Parameter [m/s]	Mittlere Windgeschwindigkeit [m/s]	k-Parameter	Häufigkeit [%]	Häufigkeit [%]	Windgradient
0-N	3.68	3.29	1.660	2.49	2.5	-0.01
1-NNO	2.21	2.02	1.382	0.67	0.7	-0.18
2-ONO	2.75	2.55	1.266	0.87	0.9	-0.03
3-O	2.57	2.29	1.689	1.78	1.8	-0.05
4-OSO	4.25	3.76	2.241	7.93	7.9	0.00
5-SSO	4.55	4.03	2.288	16.38	16.4	-0.01
6-S	4.37	3.88	2.599	20.94	20.9	0.03
7-SSW	3.62	3.21	1.960	4.80	4.8	-0.02
8-WSW	2.41	2.19	1.408	1.18	1.2	-0.11
9-W	2.50	2.38	1.156	1.52	1.5	-0.07
10-WNW	3.33	2.99	1.556	8.39	8.4	-0.04
11-NNW	6.00	5.32	2.050	33.06	33.1	0.01
Mittel	4.68	4.16	1.853	100.00	100.0	0.00



Projekt:

20395: Windpotentialstudie Grimsel, Schweiz

Beschreibung:

Daten aus Datei(en)

G:\Winddaten\Schweiz\Grimsel\Schlussbericht Meteotest\daten\grim_lj_ohne_999.dat

Ausdruck/Seite

19.11.2002 14:38 / 1

Lizenziert Anwender:

NEK Umwelttechnik AG

Clausiusstrasse 41

CH-8033 Zürich

+41 1 261 07 07

Berechnet:

19.11.2002 14:38/

METEO-Daten-Bericht, Höhe: 30.0

Name des METEO-Objektes: 30m Mast

Datenanfang: 01.12.2000 10:20 Datenende: 30.6.2002 20:50 Meßwerte: 80781 Meßwerte pro Tag: 144 Verfügbarkeit: 97%

Tag	12.00	01.01	02.01	03.01	04.01	05.01	06.01	07.01	08.01	09.01	10.01	11.01	12.01	01.02	02.02	03.02	04.02	05.02	06.02	07.02
1	(82)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
2	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
3	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
4	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
5	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(1)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
6	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(0)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
7	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(143)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
8	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(12)	144
9	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(0)	144
10	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(0)	144
11	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(0)	144
12	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(0)	144
13	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(0)	144
14	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(62)	144
15	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
16	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
17	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(126)	144	144	(1)	144	144	144	144	144	144	144
18	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(0)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
19	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(143)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
20	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
21	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
22	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
23	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(92)	144
24	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(0)	144
25	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(0)	144
26	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(121)	(143)	144	144	144	144	144	144	144	(98)	144
27	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(143)	144
28	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
29	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
30	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(126)	144
31	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
%	100	100	100	100	100	100	100	(100)	100	(86)	(100)	100	(94)	100	100	100	100	(79)	(91)	(0)

Projekt:

20395: Windpotentialstudie Grimsel, Schweiz

Beschreibung:

Daten aus Datei(en)
 G:\Winddaten\Schweiz\Grimsel\Schlussbericht
 Meteotest\daten\grim_lj_ohne_999.dat

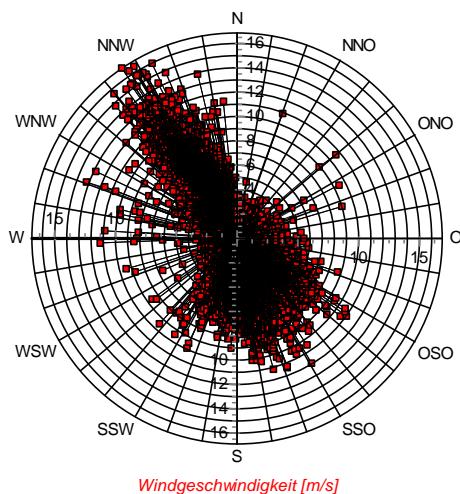
Ausdruck/Seite:
19.11.2002 14:38 / 2

Lizenziert Anwender:
NEK Umwelttechnik AG
 Clausiusstrasse 41
 CH-8033 Zürich
 +41 1 261 07 07

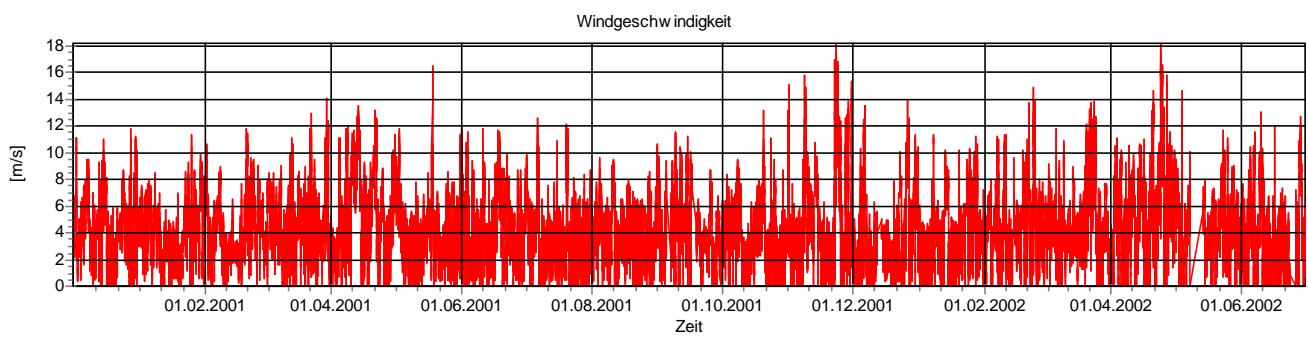
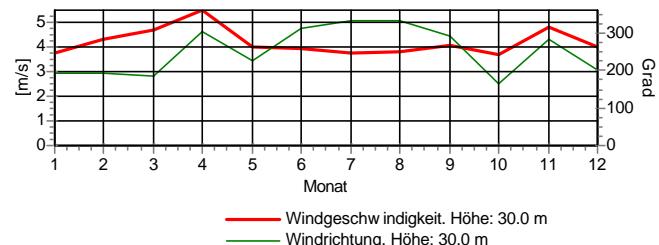
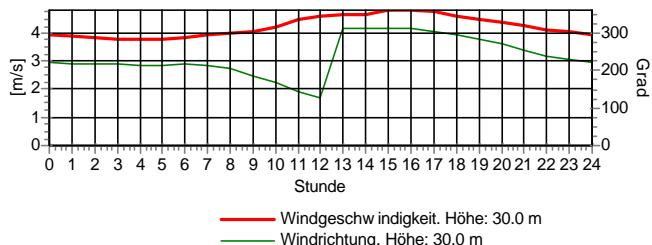
Berechnet:
19.11.2002 14:38/

METEO-Daten-Bericht, Höhe: 30.0

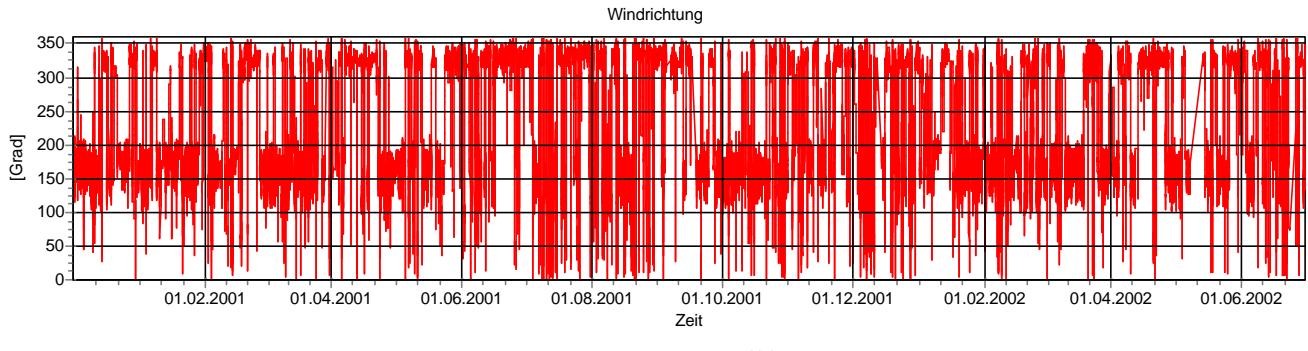
Name des METEO-Objektes: 30m Mast

**Monatliche Mittelwerte der Windgeschwindigkeit in m/s**

Monat	2000	2001	2002	Mittel
Jan	3.9	3.6	3.7	
Feb	4.1	4.5	4.3	
Mär	4.6	4.7	4.7	
Apr	5.3	5.7	5.5	
Mai	3.9	4.1	4.0	
Jun	4.0	3.8	3.9	
Jul	3.7		3.7	
Aug	3.8		3.8	
Sep	4.1		4.1	
Okt	3.7		3.7	
Nov		4.8	4.8	
Dez	4.3	3.6	4.0	
Mittel	4.3	4.1	4.4	4.2



Höhe: 30.0 m



Höhe: 30.0 m

Projekt:

20395: Windpotentialstudie Grimsel, Schweiz

Beschreibung:

Daten aus Datei(en)
 G:\Winddaten\Schweiz\Grimsel\Schlussbericht
 Meteotest\daten\grim_lj_ohne_999.dat

Ausdruck/Seite:

19.11.2002 14:38 / 3

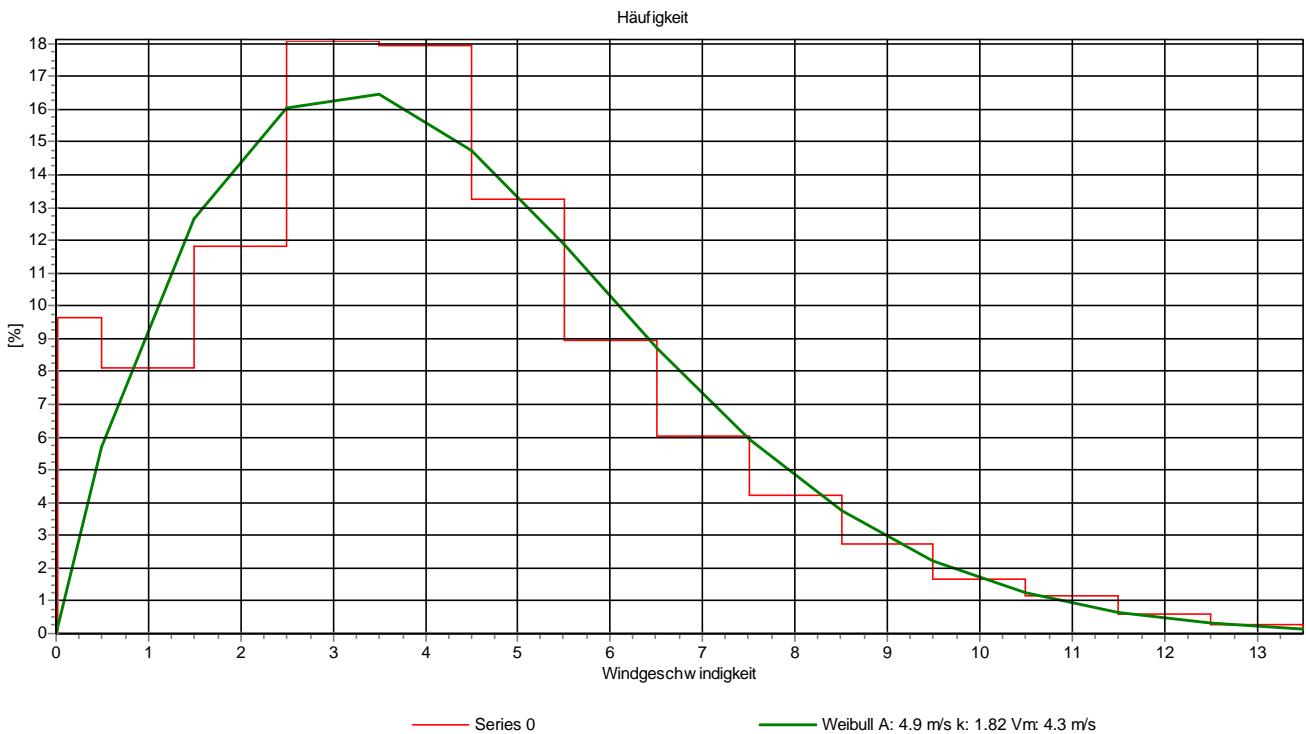
Lizenziert Anwender:

NEK Umwelttechnik AG
 Clausiusstrasse 41
 CH-8033 Zürich
 +41 1 261 07 07

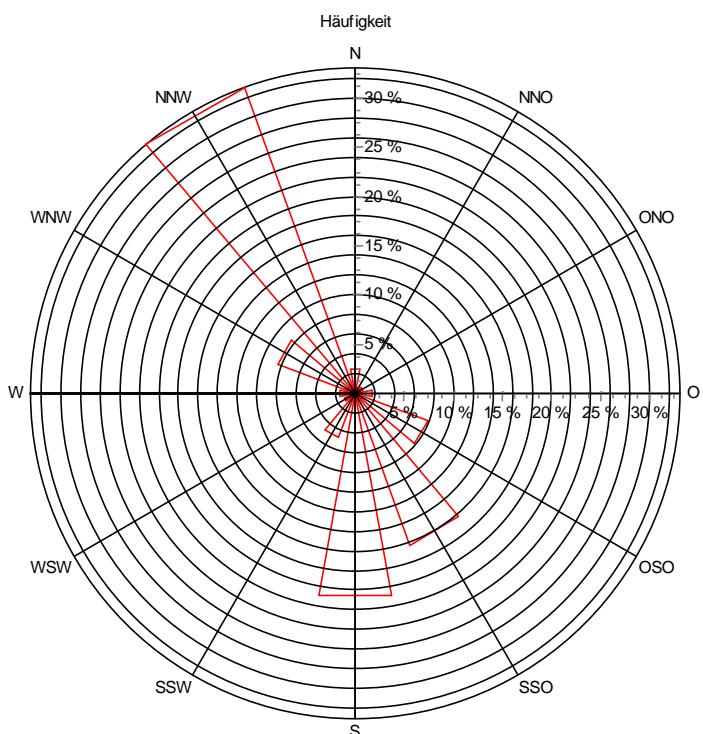
Berechnet:
 19.11.2002 14:38/

METEO-Daten-Bericht, Höhe: 30.0

Name des METEO-Objektes: 30m Mast



— Series 0 — Weibull A: 4.9 m/s k: 1.82 Vm: 4.3 m/s



Projekt:

20395: Windpotentialstudie Grimsel, Schweiz

Beschreibung:

Daten aus Datei(en)
 G:\Winddaten\Schweiz\Grimsel\Schlussbericht
 Meteotest\daten\grim_lj_ohne_999.dat

Ausdruck/Seite:

19.11.2002 14:38 / 4

Lizenziert Anwender:

NEK Umwelttechnik AG
 Clausiusstrasse 41
 CH-8033 Zürich
 +41 1 261 07 07

Berechnet:
 19.11.2002 14:38/

METEO-Daten-Bericht, Höhe: 30.0

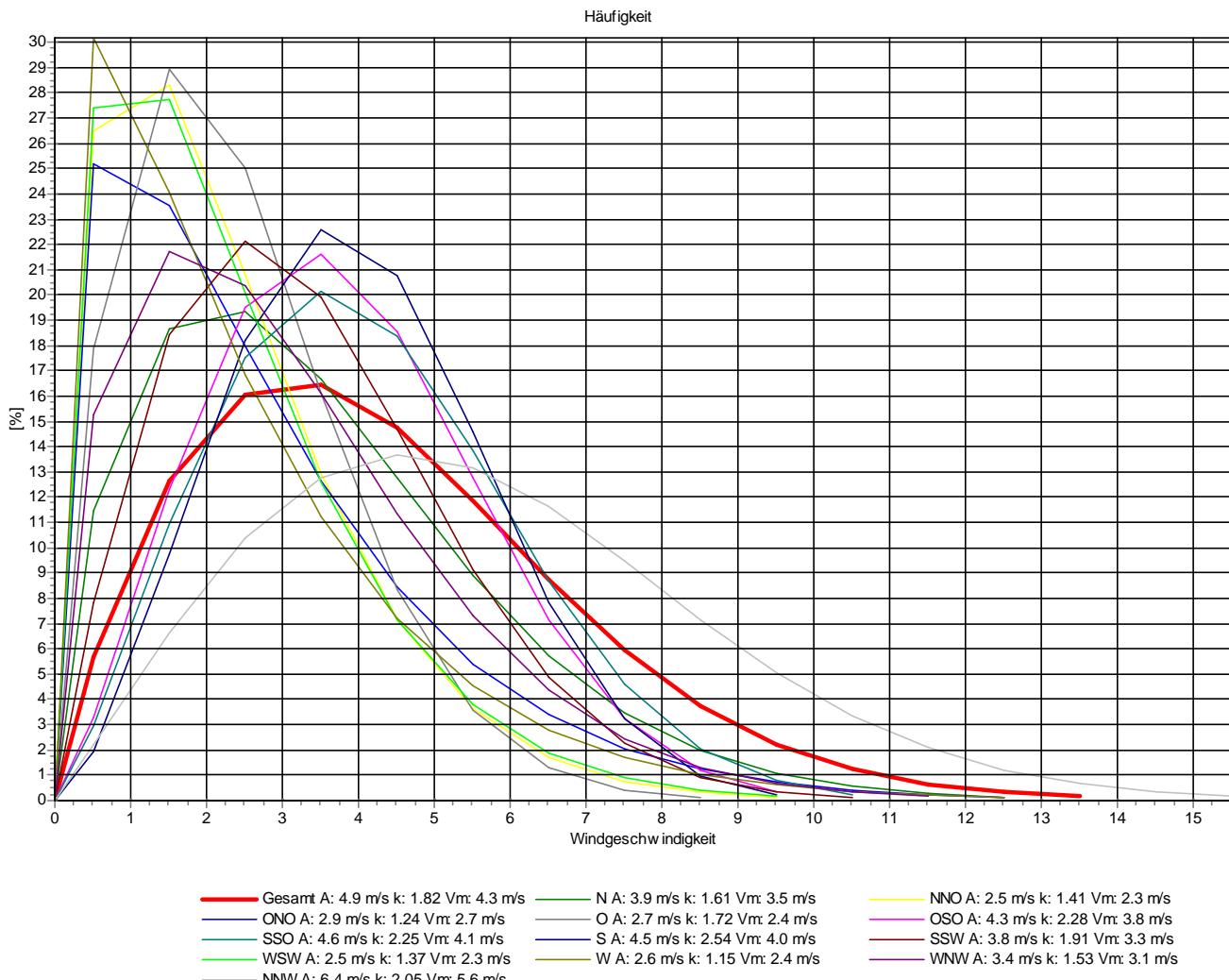
Name des METEO-Objektes: 30m Mast

Weibull-Daten

k-Parameter Korrekturwert: 0.0080/m

Sektor	A-Parameter [m/s]	Mittlere Windgeschwindigkeit [m/s]	k-Parameter	Häufigkeit [%]	Häufigkeit [%]	Windgradient
0-N	3.89		3.48	1.608	2.49	2.5
1-NNO	2.48		2.26	1.413	0.67	0.7
2-ONO	2.88		2.69	1.241	0.87	0.9
3-O	2.71		2.41	1.717	1.78	1.8
4-OSO	4.34		3.84	2.280	7.93	7.9
5-SSO	4.63		4.10	2.253	16.38	16.4
6-S	4.50		4.00	2.538	20.94	20.9
7-SSW	3.77		3.35	1.914	4.80	4.8
8-WSW	2.48		2.27	1.367	1.18	1.2
9-W	2.56		2.44	1.146	1.52	1.5
10-WNW	3.43		3.09	1.532	8.39	8.4
11-NNW	6.38		5.65	2.054	33.06	33.1
Mittel	4.87		4.33	1.820	100.00	0.00

Sektor	A-Parameter [m/s]	Mittlere Windgeschwindigkeit [m/s]	k-Parameter	Häufigkeit [%]	Häufigkeit [%]	Windgradient
0-N	3.89		3.48	1.608	2.49	2.5
1-NNO	2.48		2.26	1.413	0.67	0.7
2-ONO	2.88		2.69	1.241	0.87	0.9
3-O	2.71		2.41	1.717	1.78	1.8
4-OSO	4.34		3.84	2.280	7.93	7.9
5-SSO	4.63		4.10	2.253	16.38	16.4
6-S	4.50		4.00	2.538	20.94	20.9
7-SSW	3.77		3.35	1.914	4.80	4.8
8-WSW	2.48		2.27	1.367	1.18	1.2
9-W	2.56		2.44	1.146	1.52	1.5
10-WNW	3.43		3.09	1.532	8.39	8.4
11-NNW	6.38		5.65	2.054	33.06	33.1
Mittel	4.87		4.33	1.820	100.00	0.00





13.3 WINDSTATISTIK

Projekt:

20395: Windpotentialstudie Grimsel, Schweiz

Ausdruck/Seite

14.11.2002 11:01 / 1

Lizenziert Anwender:

NEK Umwelttechnik AG
 Clausiusstrasse 41
 CH-8033 Zürich
 +41 1 261 07 07

Berechnet:

08.11.2002 10:32/2.2.1.12

STATGEN - Überblick**Berechnung:** 30m Mast 1Jahr lj 021108 **Datei:** G:\WindPRO Data\Projects\Schweiz\Grimsel\ 30m Mast 1Jahr lj 021108.lib**Name**

30m Mast 1Jahr lj 021108

Quelle

USER

Staat

Standortkoordinaten

Local Ost: 668'715 Nord: 156'737

Terraindaten

30m Mast

Meteorologische Daten

30m Mast



Maßstab 1:25'000

Terraindaten

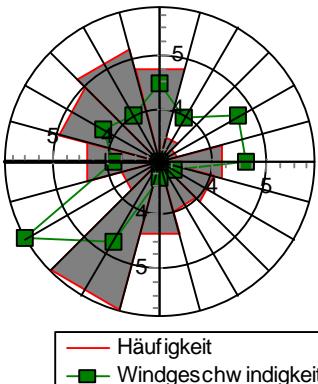
Meteorologische Daten

Mittlere Windgeschwindigkeit [m/s]**Rauhigkeitsklasse/Breite**

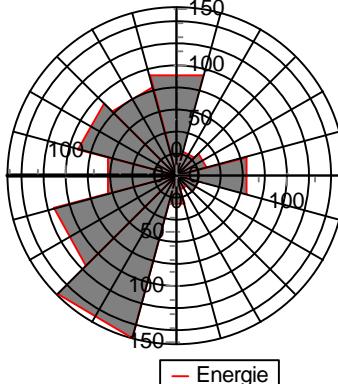
Höhe	0	1	2	3
[m]	0.00 m	0.03 m	0.10 m	0.40 m
10.0	4.3	3.0	2.6	2.1
25.0	4.7	3.6	3.3	2.7
50.0	5.0	4.2	3.8	3.3
100.0	5.5	5.0	4.6	4.0
200.0	6.0	6.2	5.6	4.9

Mittlere Windgeschwindigkeit [m/s]

Rauhigkeitsklasse: 1; Höhe: 50 m

**Energie [kWh/m2/Jahr]**

Rauhigkeitsklasse: 1; Höhe: 50 m

**Bruttowindenergie [kWh/m2/Jahr]****Rauhigkeitsklasse/Breite**

Höhe	0	1	2	3
[m]	0.00 m	0.03 m	0.10 m	0.40 m
10.0	856	362	240	118
25.0	1'089	567	418	251
50.0	1'315	778	603	403
100.0	1'727	1'226	938	627
200.0	2'469	2'448	1'831	1'182

— Häufigkeit
 ■ Windgeschwindigkeit

WKA Energieproduktion [kWh/m2/Jahr]

(Normalwind) WKA mit normalem Leistungsfaktor (0.55 kWh/m2/Jahr) WKA mit hohem Leistungsfaktor (0.55 kWh/m2/Jahr) WKA mit kleinem Leistungsfaktor (0.35 kWh/m2/Jahr)

Rauhigkeitsklasse/Breite

Höhe	0	1	2	3
[m]	0.00 m	0.03 m	0.10 m	0.40 m
10.0	-	-	-	-
25.0	-	-	-	-
50.0	471	-	-	-
100.0	594	-	-	-
200.0	762	806	641	-

Rauhigkeitsklasse/Breite

Höhe	0	1	2	3
[m]	0.00 m	0.03 m	0.10 m	0.40 m
10.0	-	-	-	-
25.0	-	-	-	-
50.0	473	-	-	-
100.0	612	-	-	-
200.0	804	854	666	-

Rauhigkeitsklasse/Breite

Höhe	0	1	2	3
[m]	0.00 m	0.03 m	0.10 m	0.40 m
10.0	-	-	-	-
25.0	-	-	-	-
50.0	451	-	-	-
100.0	565	-	-	-
200.0	721	759	609	-

Kennwerte

Bruttowindenergie relativ zu 3300 kWh/m2/Jahr für Rauhigkeitsklasse 1 und 50 m Nabenhöhe

WKA Produktion relativ zu 1025 kWh/m2/Jahr für Rauhigkeitsklasse 1 und 50 m Nabenhöhe

Name Abstand Bruttowindenergie WKA

	[km]	[%]	Energieproduktion [%]
Aktuelle Windstatistik		23.6	0.0
Milano, 1966-75	145.2	7.4	0.0
Bolzano, 1966-75	229.9	17.9	0.0
Stuttgart, 1972-81	245.5	29.3	0.0
Lyon, 1970-79	277.5	62.2	0.0



13.4 WINDPROFIL

WAsP interface - Windprofil**Berechnung:** Windprofil Messmast 30 m 021108 **WKA:** ANBONUS AN 1,3MW - 62 1300-260 62.0 !O! WICO 06/00 1.225 25.0 0.00, Nabenhöhe: 50.0 m**Terraindaten****Standortkoordinaten****Luftdichte**

30m Mast

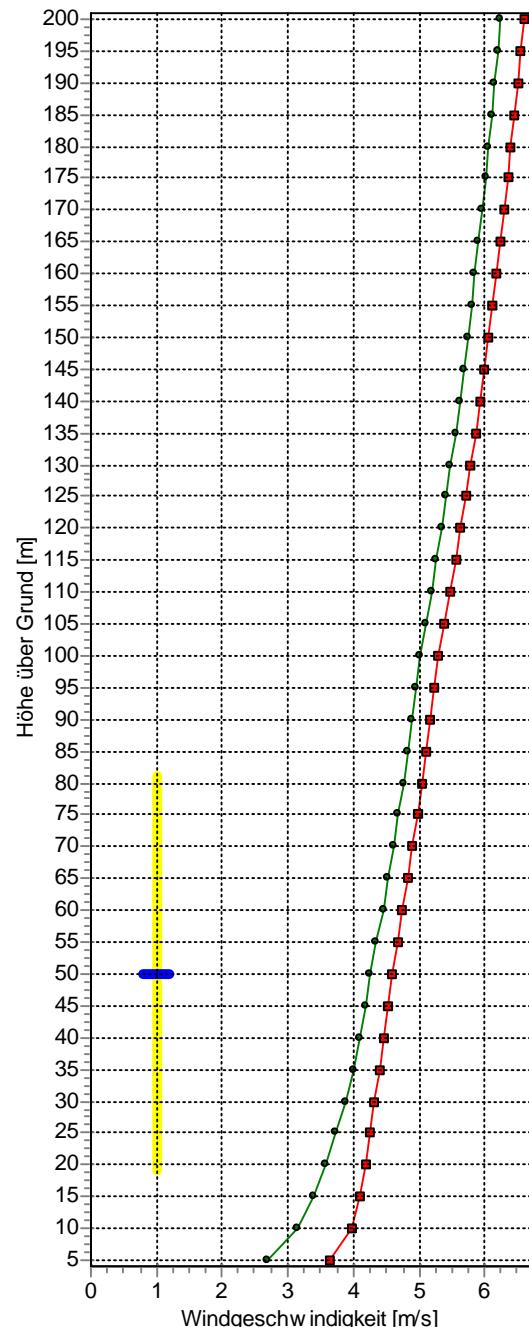
Local Ost: 668'720 Nord: 156'742

0.969 kg/m³

Windstatistiken

30m Mast 1Jahr Ij 021108.lib

Höhe	Mittlere Windgeschwindigkeit	A-Parameter	k-Parameter	Bruttowindenergie	Ertrag	Ertragswechsel	Orographie
[m/s]	[m/s]			[kWh/m²]	[MWh]	[MWh]	[%]
5	3.6	4.0	1.42	609	700	-283	227.9
10	4.0	4.4	1.53	707	824	-159	158.8
15	4.1	4.6	1.59	734	859	-124	117.0
20	4.2	4.7	1.64	742	877	-106	91.8
25	4.2	4.7	1.67	751	890	-92	75.6
30	4.3	4.8	1.74	764	914	-69	65.1
35	4.4	4.9	1.79	778	938	-45	57.5
40	4.5	5.0	1.84	785	953	-30	51.8
45	4.5	5.1	1.89	791	966	-17	47.3
50	4.6	5.2	1.94	801	983	0	43.9
55	4.7	5.3	1.96	837	1'027	45	41.0
60	4.7	5.3	1.98	873	1'070	87	38.6
65	4.8	5.4	2.00	907	1'111	128	36.7
70	4.9	5.5	2.02	941	1'152	169	35.1
75	5.0	5.6	2.03	977	1'195	212	33.9
80	5.0	5.7	2.05	1'012	1'237	255	32.8
85	5.1	5.8	2.06	1'048	1'278	295	32.0
90	5.2	5.8	2.07	1'083	1'319	336	31.2
95	5.2	5.9	2.08	1'116	1'358	375	30.6
100	5.3	6.0	2.09	1'151	1'396	413	30.0
105	5.4	6.1	2.09	1'212	1'462	479	29.4
110	5.5	6.2	2.08	1'274	1'526	543	28.8
115	5.6	6.3	2.08	1'335	1'588	606	28.3
120	5.6	6.4	2.08	1'395	1'649	667	27.8
125	5.7	6.4	2.07	1'455	1'709	726	27.4
130	5.8	6.5	2.07	1'515	1'766	783	27.1
135	5.9	6.6	2.06	1'574	1'822	840	26.7
140	5.9	6.7	2.06	1'633	1'877	894	26.4
145	6.0	6.8	2.06	1'688	1'930	947	26.2
150	6.1	6.8	2.06	1'746	1'982	999	25.9
155	6.1	6.9	2.05	1'804	2'033	1'050	25.6
160	6.2	7.0	2.05	1'862	2'082	1'099	25.4
165	6.2	7.0	2.05	1'915	2'130	1'147	25.2
170	6.3	7.1	2.04	1'972	2'177	1'194	25.0
175	6.3	7.2	2.04	2'024	2'222	1'239	24.8
180	6.4	7.2	2.04	2'080	2'267	1'284	24.6
185	6.4	7.3	2.04	2'131	2'311	1'328	24.4
190	6.5	7.3	2.04	2'186	2'353	1'370	24.2
195	6.6	7.4	2.04	2'236	2'394	1'411	24.0
200	6.6	7.4	2.04	2'286	2'434	1'452	23.9



■	Mittlere Windgeschwindigkeit
●	Ohne Orographie/Hindernisse
—	WKA Rotor



13.5 RESSOURCENKARTE (50 M UND 70 M)

Projekt:

20395: Windpotentialstudie Grimsel, Schweiz

Beschreibung:

Ressourcenberechnung mit 25m Auflösung auf 50 und 70 m Nabenhöhen mit 1 Jahr langjährigen Daten

Ausdruck/Seite

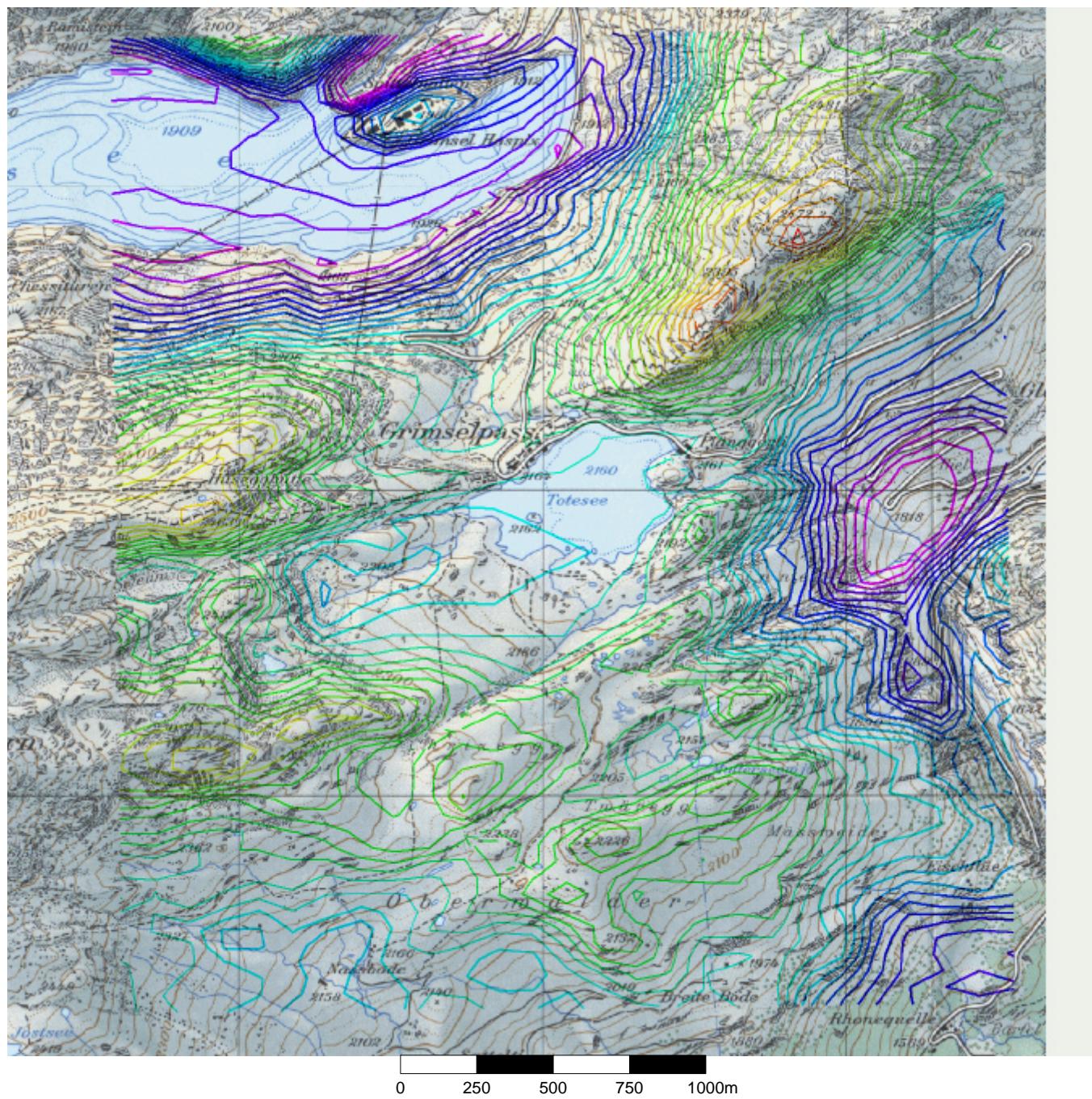
18.11.2002 17:04 / 1

Lizenziert Anwender:

NEK Umwelttechnik AG
Clausiusstrasse 41
CH-8033 Zürich
+41 1 261 07 07

Berechnet:

08.11.2002 13:36/2.2.1.12

RESOURCE - Basiskarte**Berechnung:** 30m Mast_25m_50_70m_1Jahr lj 021108 **Datei:** Basiskarte.bmi

Karte: Basiskarte , Druckmaßstab 1:20'000, Kartenzentrum Local Ost: 669'066 Nord: 156'902

Dargestellte ISO-Linien: Mittlere Windgeschwindigkeit Höhe: 50.0

2.2 m/s	3.4 m/s	4.6 m/s	5.8 m/s	7.0 m/s
2.4 m/s	3.6 m/s	4.8 m/s	6.0 m/s	7.2 m/s
2.6 m/s	3.8 m/s	5.0 m/s	6.2 m/s	7.4 m/s
2.8 m/s	4.0 m/s	5.2 m/s	6.4 m/s	7.6 m/s
3.0 m/s	4.2 m/s	5.4 m/s	6.6 m/s	7.8 m/s
3.2 m/s	4.4 m/s	5.6 m/s	6.8 m/s	0.0 m/s

Projekt:

20395: Windpotentialstudie Grimsel, Schweiz

Beschreibung:

Ressourcenberechnung mit 25m Auflösung auf 50 und 70 m Nabenhöhen mit 1 Jahr langjährigen Daten

Ausdruck/Seite:

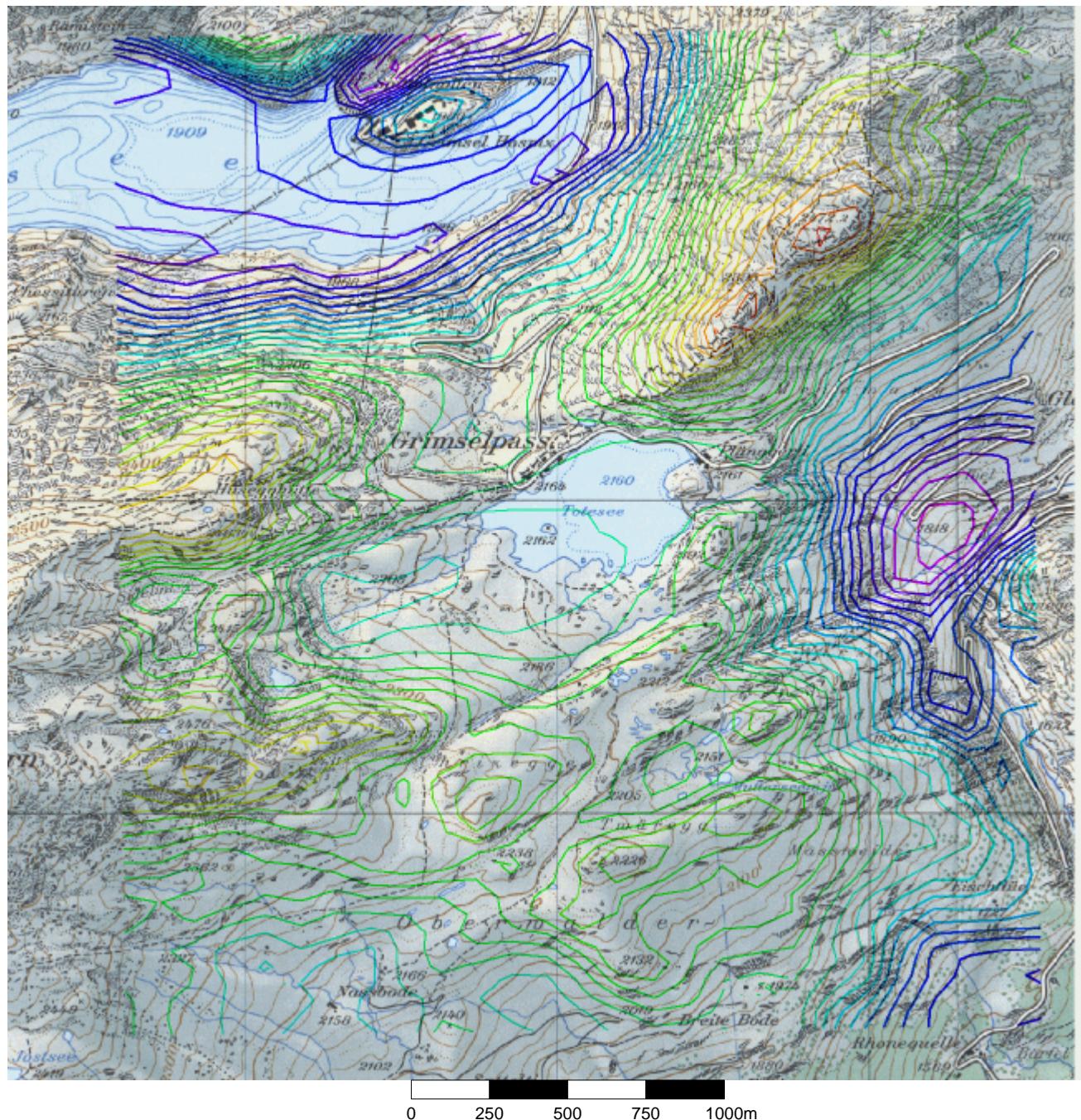
18.11.2002 16:56 / 1

Lizenziert Anwender:

NEK Umwelttechnik AG
Clausiusstrasse 41
CH-8033 Zürich
+41 1 261 07 07

Berechnet:

08.11.2002 13:36/2.2.1.12

RESOURCE - Basiskarte**Berechnung:** 30m Mast_25m_50_70m_1Jahr lj 021108 **Datei:** Basiskarte.bmi

Karte: Basiskarte , Druckmaßstab 1:20'000, Kartenzentrum Local Ost: 669'066 Nord: 156'902

Dargestellte ISO-Linien: Mittlere Windgeschwindigkeit Höhe: 70.0

2.2 m/s	3.4 m/s	4.6 m/s	5.8 m/s	7.0 m/s
2.4 m/s	3.6 m/s	4.8 m/s	6.0 m/s	7.2 m/s
2.6 m/s	3.8 m/s	5.0 m/s	6.2 m/s	7.4 m/s
2.8 m/s	4.0 m/s	5.2 m/s	6.4 m/s	7.6 m/s
3.0 m/s	4.2 m/s	5.4 m/s	6.6 m/s	7.8 m/s
3.2 m/s	4.4 m/s	5.6 m/s	6.8 m/s	0.0 m/s



13.6 WINDPARKBERECHNUNG

Projekt:

20395: Windpotentialstudie Grimsel, Schweiz

Ausdruck/Seite:

14.11.2002 10:59 / 1

Lizenziert Anwender:

NEK Umwelttechnik AG
 Clausiusstrasse 41
 CH-8033 Zürich
 +41 1 261 07 07

Berechnet:

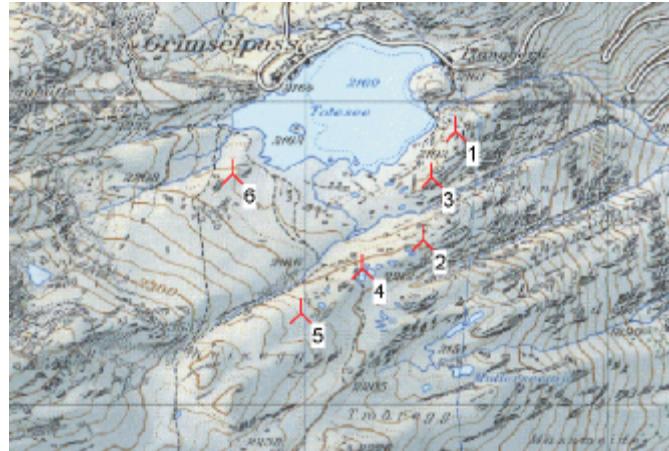
14.11.2002 10:59/2.2.1.12

PARK - Hauptergebnis**Berechnung:** Parkberechnung 1.3 MW AN Bonus mit IJ Daten 021112

Luftdichte 0.969 kg/m³
 Ausbreitungskonstante für Nachlaufströmung 0.075

WKA Standort

Local						
	X	Y	Z	Reihendaten/ Beschreibung	[m]	
1 Neu	669'497	156'903	2'186	1 1.3 MW		
2 Neu	669'388	156'542	2'197	3 1.3 MW		
3 Neu	669'419	156'749	2'180	2 1.3 MW		
4 Neu	669'189	156'448	2'205	4 1.3 MW		
5 Neu	668'985	156'300	2'227	5 1.3 MW		
6 Neu	668'758	156'761	2'183	6 1.3 MW		



Maßstab 1:25'000

Red marker: Neue WKA

Windressource(n) Datei(en)

\\\Lunek\NEK_Daten\WindPRO Data\Projects\Schweiz\Grimsel\Resultatfiles\Ressource\Ressource_Grimsel_50_70m_1Jahr_IJ.rsf

Hauptergebnis für WINDPARK-Berechnung

WKA Kombination	Windpark Energieproduktion [MWh]	Windpark Energieproduktion - 20 % [MWh]	Windpark Parkwirkungsgrad [%]	Mittlere WKA-Produktion [MWh]
Windpark	8'539.4	6'831.5	96.5	1'423.2

Berechnete jährliche Energieproduktion für neue WKA

WKA Typ	Aktuell	Hersteller	Typ	Leistungskennlinie					Jährliche Energieproduktion PARK			
				Leistung [kW]	Rotord. [m]	Höhe [m]	Kreis-radius [m]	Erzeuger	Name	Ergebnis [MWh]	Ergebnis-20% [MWh]	Parkwirkungsgrad [%]
1 Ja	ANBONUS	AN 1,3MW	/ 62	1'300/260	62.0	50.0	250.0	EMD	WICO 06/00 1.225 25.0 0.00	1'669.1	1'335	97.9
2 Ja	ANBONUS	AN 1,3MW	/ 62	1'300/260	62.0	50.0	250.0	EMD	WICO 06/00 1.225 25.0 0.00	1'506.8	1'205	94.3
3 Ja	ANBONUS	AN 1,3MW	/ 62	1'300/260	62.0	50.0	250.0	EMD	WICO 06/00 1.225 25.0 0.00	1'467.7	1'174	96.9
4 Ja	ANBONUS	AN 1,3MW	/ 62	1'300/260	62.0	50.0	250.0	EMD	WICO 06/00 1.225 25.0 0.00	1'451.0	1'161	97.1
5 Ja	ANBONUS	AN 1,3MW	/ 62	1'300/260	62.0	50.0	250.0	EMD	WICO 06/00 1.225 25.0 0.00	1'497.8	1'198	96.2
6 Ja	ANBONUS	AN 1,3MW	/ 62	1'300/260	62.0	50.0	250.0	EMD	WICO 06/00 1.225 25.0 0.00	947.0	758	97.1



**13.7 POTENTIAL- UND STANDORTABKLÄRUNGEN FÜR EIN WINDENERGIEPROJEKT
AUF DEM GRIMSELPASS**

Projektvorbeschrieb vom 30. September 2002

Potential- und Standortabklärungen für ein Windenergieprojekt auf dem Grimselpass

Oberwald VS

ausgearbeitet durch

Dr. Christoph Kapp, Peter Schwer und Renzo Brenni
NEK UMWELTTECHNIK AG
Clausiusstrasse 41
8033 Zürich

ZUSAMMENFASSUNG

Ziel dieses Windenergieprojektes ist, fundiert abzuklären, inwiefern sich der vorgesehene Standort auf dem Grimselpass zur Errichtung von Windkraftanlagen eignet und in der Folge, sofern genügend Wind vorhanden ist, eine Projektentwicklung durchzuführen. Dazu wurden in einer ersten Phase standortbezogene Windmessungen durchgeführt sowie ein Teil der anderen notwendigen Rahmenparameter im Zusammenhang mit der möglichen Errichtung von Windenergieanlagen geklärt. Sofern es die Windverhältnisse in Kombination mit der zu erzielenden Einspeisevergütung für den generierten Strom erlauben und das Ergebnis der weiteren Untersuchungen im Zusammenhang mit diesem Projekt positiv verlaufen, könnte im Jahr 2004 mit der Installation der Windmühlen begonnen werden. Je nach Ergebnis der Windmessungen und den planerischen Auflagen in Kombination mit den umweltrelevanten Parametern können auf dem in Aussicht stehenden Gebiet ca. 6 - 8 MW an Windleistung installiert werden. In wie vielen Etappen das Projekt realisiert werden soll, steht zum heutigen Zeitpunkt noch nicht fest. Diese Frage wird im Verlauf der detaillierteren Planung zu beantworten sein.

Die vorliegenden Windmessdaten entsprechen nicht unseren Vorstellungen, doch ist zu berücksichtigen, dass der 30-m-Messmast an einer nicht exponierten, relativ geschützten Stelle errichtet worden war, da aufgrund der Zufahrbarkeit damals kein besserer Standort gefunden werden konnte. Die gemessenen Windgeschwindigkeiten auf 30 m Höhe von ca. 4.6 m/s sind deshalb auch nicht als erfreulich zu betrachten, wenn man Vergleichswerte vom Hospiz Grimsel heranzieht, welche wesentlich über diesem Wert liegen. Im ersten Winterhalbjahr waren einige klimabedingte Ausfälle von Geräten zu verzeichnen. Um eine möglichst vollständige Datenreihe zu erhalten und begleitend dazu das eigentliche Projekt weiter voranzutreiben, wurden die Messungen bis zum Sommer 2002 weitergeführt. Zur Zeit werden die entsprechenden Daten ausgewertet. Erste Abklärungen mit den Behörden und involvierten Gremien haben ergeben, dass die Entwicklung der Windenergie grundsätzlich begrüßt wird. Aus Sicht des Landschaftsschutzes und der Umwelteinflüsse muss jedoch jeder einzelne der 6 vorgesehenen Standorte einer speziellen Prüfung unterzogen werden, damit er akzeptiert wird.

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. AUSGANGSLAGE	5
1.1 Beschreibung des Projektes	5
1.2 Projektumfeld, Abgrenzungen gegenüber anderen Projekten	6
1.3 Raumentwicklung auf der grimsel Passhöhe	7
2. NEUE BAUTEN UND ANLAGEN AN WKA-STANDORTEN	8
2.1 Aufbau eines Windkraftwerkes im Allgemeinen	8
2.1.1 Windkraftanlagen	8
2.1.2 Erschliessung	9
2.1.3 Elektrische Installationen	10
2.2 Verhältnisse auf dem grimsel	10
3. ZIELE UNSERES PROJEKTES	11
4. WINDMESSUNGEN	12
4.1 Messkonzept	12
4.2 Messperiode	12
4.3 Korrelation der Winddaten und Modellierung	13
4.4 Geplante Ergebnisse nach auswertung der Messungen	13
4.5 BISHERIGE WINDMESSRESULTATE	13
5. PROJEKTBESCHRIEB	14
5.1 Grundlagenerarbeitung	14
5.2 Team und Partner	14
5.3 Terminplanung	15
5.4 Definition des Projektperimeters	15
5.5 PROJEKTGRÖSSE	16
5.6 Landeigentümer	16
5.7 Schutzgebiete Natur	16
5.8 Sichtbarkeit von entfernten Standorten	17
5.9 Geschützte Objekte Heimatschutz/Denkmalsschutz	18

5.10	Vorbelastung des Gebietes	18
5.11	Gefahrenzonen	19
5.12	Bewohnte Gebäude und besuchte Orte	19
5.13	Einspeisemöglichkeiten für den produzierten Strom	19
6.	ABKLÄRUNGEN BEI BEHÖRDEN UND VERBÄNDEN	20
7.	WIRTSCHAFTLICHKEITSBETRACHTUNGEN	20
8.	AUSBLICK	21
ANHANG: FOTODOKUMENTATION UND FOTOMONTAGEN		22

1. AUSGANGSLAGE

1.1 BESCHREIBUNG DES PROJEKTES

Trotz des beinahe weltweiten Booms bei der Nutzung der Windkraft zur Stromerzeugung stagniert die Windkraftnutzung in der Schweiz seit längerer Zeit, indem bis heute hierzulande lediglich ca. 5 MW an Windenergie installiert sind, obwohl das Potential um ein Vielfaches höher ist. In der Schweiz gibt es zahlreiche gute Windkraftstandorte, von welchen einer auf dem Grimselpass gelegen sein könnte. Diese Annahme trafen wir bereits vor der Aufnahme unserer Messkampagne, da Messreihen vom Hospiz Grimsel mittlere jährliche Windgeschwindigkeiten zeigten, welche ermutigend waren.

In- und ausländische Investoren für die Errichtung von Windkraftanlagen in der Schweiz sind vorhanden. Es fehlen jedoch häufig die standortrelevanten Rahmenbedingungen zur Umsetzung eines solchen Projektes. Dazu gehören:

- Klare Aussagen zum Windpotential am Standort basierend auf Windmessungen und/ oder Windmodelling
- Aussagen zur Nähe und Möglichkeit der Stromeinspeisung in das Netz
- Klärung der Anschlussbedingungen zur Stromeinspeisung
- Behördliche Auflagen zur Errichtung von Windkraftanlagen
- Wirtschaftlichkeitsberechnung auf der Basis der Einspeisevergütung und der Stromproduktion
- Miete oder Pacht der für die Windkraftnutzung benötigten Flächen

Unsere Abklärungen haben ergeben, dass auf der Grimselpasshöhe unabhängig von den Windverhältnissen die Voraussetzungen für die Errichtung von Windkraftanlagen grundsätzlich gegeben sind: Das Gebiet ist durch die Passstrasse gut erschlossen und erreichbar. Allerdings bleibt die Frage zu klären, wie die einzelnen Windmühlenstandorte am besten zu erschliessen sind. Es gibt speziell südlich und östlich des Totensees Flächen, die für die Windkraftanlagenerrichtung geeignet und von aussen schlecht einsehbar sind. Mögliche Einspeisepunkte für den generierten Strom befinden sich sehr nahe, führt doch eine grosse Überlandleitung der KWO bis auf die Passhöhe. Mit Ausnahme einiger Touristenrestaurants ist das Gebiet unbewohnt.

1.2 PROJEKTUMFELD, ABGRENZUNGEN GEGENÜBER ANDEREN PROJEKTEN

Neben einigen wenigen, kleinen Windkraftanlagen sind in der Schweiz zur Zeit lediglich 6 grössere Windmühlen auf dem Mont Crosin sowie seit kurzem eine Anlage auf dem Gütsch oberhalb von Andermatt in Betrieb. Trotz des zweifellos vorhandenen Windpotentials wurden in der Schweiz bislang keine weiteren Windprojekte umgesetzt. Die Windszene Schweiz muss neidisch in Richtung Ausland blicken, wo jährliche Zuwachsraten von mehreren Dutzend Prozent bezogen auf die installierte Windleistung keine Seltenheit sind. So waren beispielsweise Mitte 2002 in Deutschland 9'800 MW, in Spanien ca. 3'700 MW und in Dänemark rund 2'500 MW an Windpower installiert. Im Alpenland Österreich beispielsweise waren es im Sommer 2002 bereits rund 98 MW, das heisst mehr als das 20-fache unseres Landes. In den einschlägigen Listen figuriert die Schweiz denn auch, sofern überhaupt aufgeführt, unter „ferner liegen“.

Die Nachfrage nach umweltgerecht produziertem Strom ist in der Schweiz gross, ja kann gar nicht gedeckt werden. Es wird zukünftig für private Stromproduzenten auch ohne neues Stromgesetz möglich sein, in der Schweiz Strom zu generieren und auf dem Markt zu verkaufen. Ausländische Investoren drängen auch hier auf den Markt, wobei Wind eine der interessantesten Energieformen darstellt. Das Projekt (vorgesehen ist gesamthaft die Errichtung von ca. 6 Windkraftanlagen) ist vor dem Hintergrund der Diskussion um die Klimaerwärmung (CO₂ - Problematik, Kyoto-Protokoll, Johannesburg 2002) sehr aktuell, zeitgemäß und zukunftsbezogen. Es müssen deshalb aus unserer Sicht schnellstmöglich die Voraussetzungen geschaffen werden, damit ein solches Projekt umgesetzt werden kann. Voraussetzung dazu bilden selbstredend wirtschaftlich geeignete Windverhältnisse.

1.3 RAUMENTWICKLUNG AUF DER GRIMSEL PASSHÖHE

Gebirgszonen, wie sie die Grimselpasshöhe darstellt, sind laufend Nutzungsänderungen unterworfen. Nebst alpwirtschaftlichen Aktivitäten waren dies historisch zuerst die Erschließung mit Verkehrsachsen, später folgten die militärischen Einrichtungen, die Durchleitung von Strom und schliesslich auch die Nutzung der Wasserkraft mit Hilfe von Staumauern und Wasserfassungen. Jede dieser Nutzungen benötigte spezifische neue Infrastrukturen und beanspruchte bzw. beansprucht den Raum auf ihre spezielle Art und Weise. Auch hinterlassen alle diese menschlichen Aktivitäten Spuren im Landschaftsbild und im lokalen Ökosystem. In der Gegenwart und für die nähere Zukunft sind folgende Entwicklungen auf der Grimselpasshöhe absehbar:

- Die Armee benutzt ihre Infrastrukturen auf der Grimsel Passhöhe nicht mehr. Die Festungsanlage wurde geschlossen. Heute finden keine grösseren Militäraktivitäten auf dem Grimselpass mehr statt.
- Die Passstrasse wird auch in Zukunft als touristische Hochgebirgsstrasse benutzt oder dient in Notfällen als vorübergehende Umfahrungsmöglichkeit. Ein weiterer Ausbau oder eine Aufhebung von Strassen sind nicht absehbar.
- Ebensowenig ist eine relevante Reduktion der Nutzung für die Wasserkraft bzw. eine Änderung bei den Trassen der Hochspannungsleitungen zu erwarten.
- Je nach touristischer Ausstrahlung (und einem allfälligen Ausbau des bekannten Weinkellers auf der Passhöhe) sind während der Sommermonate Besucher zu erwarten, welche als Ziel den Grimselpass haben. Anhand des Angebotes kann aber erwartet werden, dass die Besucher mit Interesse an thematischen Schwerpunkten wie Energie-Wasser-Lebensraum in der Gebirgwelt angezogen werden und nicht das Erlebnis der unberührten Gebirgwelt im Vordergrund steht.
- Sofern die zur Zeit laufenden Projektentwicklungsarbeiten positiv weitergeführt werden können und von den Behörden eine Baubewilligung für das Projekt in Aussicht gestellt wird, muss eine Betreiberorganisation gegründet werden, welche für die Realisierung und den Betrieb der Windanlagen zuständig sein wird.

2. NEUE BAUTEN UND ANLAGEN AN WKA-STANDORTEN

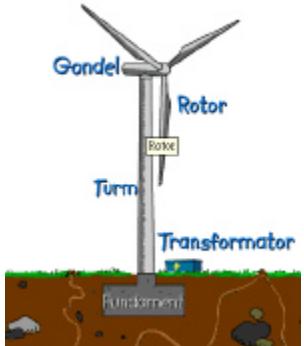
Wie für jede neue Installation von energieerzeugenden Anlagen auch, so sind auch für die Errichtung und den Betrieb von Windkraftanlagen gewisse Bauten und Infrastrukturmassnahmen nötig. Dabei werden Standorte mit möglichst umfassender bestehender Infrastruktur bezüglich der Rentabilität und der Umweltaspekte besser abschneiden als komplett unerschlossene. Deshalb liegt es im Interesse aller Beteiligten, auf die bestehende Infrastruktur zurückzugreifen und nur dort Ergänzungen oder Neuinstallationen vorzunehmen, wo es unabdingbar ist.

Für ein besseres Verständnis des Gesamtbauwerkes beschreiben wir kurz die nötigen Anlagen, welche es generell für den Bau und Betrieb von Windkraftsystemen braucht, bevor wir auf die Situation auf dem Grimselpass fokussieren.

2.1 AUFBAU EINES WINDKRAFTWERKES IM ALLGEMEINEN

2.1.1 Windkraftanlagen

Das sichtbarste und zentralste Element ist die Windkraftanlage selbst. Diese besteht aus Fundament, Turm, Gondel und Rotor. Mittlerweile gibt es Windkraftanlagen mit einer Leistung von über 2'500 kW, wobei für die Produktion von grösseren Mengen an Strom für eine Netzeinspeisung erst Anlagen ab ca. 500 kW eingesetzt werden. In der folgenden Tabelle sind die Hauptmerkmale von drei verschiedenen Anlagengrössen zusammengestellt. Je grösser die Anlage ist, desto grösser sind auch die Minimalabstände zwischen den einzelnen Standorten, und um so geringer liegt die Anlagendichte pro km² bei gleicher installierter Leistung. Die Gestehungskosten pro kWh produzierter Energie sinken mit der verwendeten Anlagegrösse und der Anzahl der Anlagen, da zentrale Installationen und die Zuwegungen in Relation zu der produzierten kWh kleiner werden. Aus transporttechnischen Gründen ist aber speziell in den Alpen die maximale Grösse der Anlage limitiert. Im Turm integriert oder unmittelbar daneben befindet sich ein Transformator, der die generierte Stromspannung von 690 V auf - normalerweise - 20 kV erhöht.



PARAMETER	LEISTUNG			
		660 kW	1'000 kW	1'500 kW
Rotordurchmesser [m]	47.0	54.0	70.0	
Rotorfläche [m ²]	1'735	2'290	3'848	
Rotordrehzahl [U/min]	20.0 - 26.0	14.5 - 21.5	10.6 - 19.1	
Einschaltgeschwindigkeit [m/s]	3.5	2.5	3.0	
Nennwindgeschwindigkeit [m/s]	16.0	14.0	12.4	
Abschaltgeschwindigkeit [m/s]	20.0	22.0	24.0	
Überlebensgeschwindigkeit [m/s]	50.0	55.0	55.0	
Nabenhöhe [m]	40.0 - 65.0	70.0	65.0 - 90.0	
Rotorgewicht [t]	13.5	19.0	25.0	
Gondelgewicht [t]	20.4	40.5	58.0	
Turmgewicht [t]	42.0 - 65.0	95.0	90.0 - 145.0	

Abbildung 1: Schema einer Windkraftanlage und Tabelle 1: Verschiedene Größenklassen von Windkraftanlagen.

2.1.2 Erschliessung

Für den Antransport und den Unterhalt der Windkraftanlagen ist eine Zuwegung zu allen Standorten nötig. Für Windmühlen mit Leistungen von 1.3 MW (wie hier vorgesehen) sind Wegbreiten von 2.5 - 3.5 m erforderlich. Zusätzlich muss auf jeder Seite der Strasse ein Streifen von ca. 0.5 - 1.0 m hindernisfrei sein. Ein breiterer Freihalteraum ist natürlich auf der Innenseite von Kurven nötig. Mit aufgeschottertem Naturbelag können bis zu 10% Steigung überwunden werden, für grössere Steigungen sind Hartbeläge oder zusätzliche Zugfahrzeuge (mit Raupen) erforderlich.

Neben der Windkraftanlage als solche muss eine mehr oder weniger ebene Fläche (die sogenannte Plattform) vorhanden sein, die genügend Platz bietet für einen Pneukran und die unbehinderte Montage des Rotorblatt-„Mercedessterns“ erlaubt.

2.1.3 Elektrische Installationen

Verlässt der Strom den Transformator der einzelnen Windkraftanlage (siehe oben), fliesst er durch unterirdisch verlegte 20-kV-Leitungen zu einer Umspannstation. Werden Parks mit vielen Anlagen fern einer bestehenden Leitung gebaut, wie zum Beispiel in Spanien oder den USA, transformiert man üblicherweise den Strom aller Anlagen in einer kleinen Umspannstation auf 50 kV oder mehr und errichtet eine Leitung bis ans bestehende Netz. Unter Umständen muss der Strom dort nochmals auf ein höheres Spannungslevel transformiert werden, bevor er ins Netz eingespiesen werden kann.

Konkret bedeutet dies die Verlegung der Kabel in Gräben, die meist entlang der Zufahrtswege der einzelnen Windmühlen zur Umspannstation führen. Diese liegt an einem zentralen Ort, von wo die Anbindung ans Netz mittels einer bestehenden oder neuen Freileitung gemacht wird.

2.2 VERHÄLTNISSE AUF DEM GRIMSEL

Allfällige Standorte auf der Grimselpasshöhe können für den Antransport natürlich von der Nähe der gut ausgebauten Passstrasse profitieren. Von dieser führen allerdings heute keine brauchbaren Wege und Pisten zu den von uns vorgesehenen Standorten der Windmühlen. Dieser Aspekt ist sicherlich für die weitere Projektverfolgung vital: Wie können die Zufahrtspisten zu den Standorten in der Umgebung des Totessees mit möglichst geringen Eingriffen in die Natur bewerkstelligt werden?

Die Anlagen auf der Grimselpasshöhe müssen natürlich an die speziell harten klimatischen Bedingungen angepasst sein, d.h. sie müssen grundsätzlich mit einer Rotorblattheizung versehen werden, welche den Eisansatz an den Blättern verhindert. Zudem müssen die Maschinen auch besonders harsche Perioden ohne fremde Hilfe überstehen, d. h. besonders robust und wartungsarm funktionieren. Drittens müssen die Rotorblätter genügend robust sein, um den in dieser Höhe zu erwartenden Turbulenzen widerstehen zu können.

Die bestehenden elektrischen Infrastrukturen zur Netzanbindung liegen in unmittelbarer Nähe und besitzen ausreichende Kapazitäten für eine Einspeisung der gewonnenen Energie ins regionale Netz der KWO. Es ist somit grundsätzlich möglich, mit Anpassungen und allfälligen Verstärkungen der bestehenden Infrastruktur die gewonnene Energie ins Netz zu bringen. Bislang sind mit der KWO aber noch keine Gespräche über eine Konzession zur Stro-

meinleitung in deren Netz geführt worden. Dies erfolgt dann, wenn mehr Sicherheit im Projekt selbst enthalten ist.

3. ZIELE UNSERES PROJEKTES

Das Ziel unserer Arbeiten ist, sämtliche Rahmenparameter zu klären, welche mit der Errichtung von Windkraftanlagen auf dem Grimselpass in Zusammenhang stehen. Neben den umfangreichen Windmessungen sind folgende Arbeiten Inhalt unseres Projektes:

- Grundlagenerarbeitung zur Errichtung von Windkraftanlagen auf dem Grimsel
- Klärung der Anschlussbedingungen, der behördlichen Auflagen und der Standorteignung
- Sicherung der Rechte an einem möglichen Windprojekt am angedachten Standort
- Erfüllen umweltrelevanter Auflagen für ein derartiges Projekt in Abstimmung mit den entsprechenden Organisationen, Behörden und Verbänden
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen unter Berücksichtigung des Einspeisepreises sowie der Stromgestehungskosten
- Bei positivem Echo: Planung der Windkraftanlagen auf dem Grimselpass inklusive Zuwegungen, Verkabelung und Stromanschluss
- Realisierung des Projektes
- Betrieb und Unterhalt der Anlagen (Struktur bleibt zu definieren)

Sofern obige Punkte positiv verlaufen resp. positiv beantwortet werden können, ist vorgesehen, auf der Grimselpasshöhe ein Projekt für die Errichtung von Windkraftanlagen zur Generierung umweltfreundlichen Stromes zu errichten. Hierfür wird der Zeitraum ab dem Jahr 2004 ins Auge gefasst.

4. WINDMESSUNGEN

4.1 MESSKONZEPT

Damit das Windpotential am angedachten Standort auf dem Grimselpass fundiert abgeschätzt werden kann, wurden vom 01. Dezember 2000 bis 30. Juni 2002 standortbezogene Windmessungen auf einem Metallmast auf drei unterschiedlichen Höhenlevels durchgeführt. Aufgrund der klimatologischen Gegebenheiten (harte Winter, kaum Zufahrbarkeit im Winterhalbjahr) wurden die Messungen teilweise mit hochwertigen geheizten Sensoren ausgeführt, und der Messmast stellt eine speziell robuste Version für extreme Standorte dar.

Auf dem 30-m-Mast wurden folgende Parameter gemessen:

- Windgeschwindigkeit auf drei Höhenniveaus (10.0, 20.0 und 29.0 m über Boden).
- Windrichtung auf 28.5 m über Grund.
- Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit ca. 3 m über Grund

Die Resultate der Windmessungen wurden wöchentlich auf unserer Homepage aufgeschaltet, wo sie jedermann einsehen konnte (www.nek.ch).

10-m-Mast

Um die Windverhältnisse an einzelnen angedachten Windkraftanlagenstandorten noch besser beurteilen zu können, wurde zusätzlich ein 10-m-Mast eingesetzt, welcher die Geschwindigkeiten und die Windrichtungen gemessen hat. Der Mast ist jedoch mehrere Male aufgrund starker Windgeschwindigkeiten umgestürzt, so dass hiervon keine brauchbaren Daten vorliegen. Es ist vorgesehene, im kommenden Sommer nochmals eine Messkampagne zu starten.

4.2 MESSPERIODE

Aufgrund der harten klimatischen Bedingungen, die im ersten Winter trotz dem Einsatz hochwertiger Komponenten zu einigen Ausfällen der Sensoren führten, haben wir uns entschieden, die Messperiode von ursprünglich 12 Monaten auf ca. 18 Monate zu verlängern (vom Dezember 2000 bis Juni 2002). Damit soll sichergestellt werden, dass die Verhältnisse während der Winterperiode auf jeden Fall zuverlässig eruiert werden können.

4.3 KORRELATION DER WINDDATEN UND MODELLIERUNG

Die Ergebnisse der Messkampagne werden zur Zeit mit langjährigen Messreihen aus der Umgebung verglichen. Darauf aufbauend müssen die Windverhältnisse im Computer möglichst genau modelliert werden, um eine seriöse Potentialabschätzung liefern zu können.

4.4 GEPLANTE ERGEBNISSE NACH AUSWERTUNG DER MESSUNGEN

Als Resultat der Messungen werden umfassende Datenreihen zu den Windverhältnissen am Standort Grimsel vorliegen, um danach darauf aufbauend mit der Modellierung eine Windressourcenkarte für verschiedene Nabenhöhen zu erarbeiten. Die Karte und die Ergebnisse tragen massgeblich dazu bei, eine korrekte Windpotentialabschätzung vorzunehmen, die dann wiederum Grundlage für die wirtschaftlichen Überlegungen eines allfälligen Projektes sind.

4.5 BISHERIGE WINDMESSRESULTATE

Die mittlere Geschwindigkeit auf 30 m Höhe beträgt am Standort des Messmastes rund 4.6 m/s (provisorische Angabe, da noch nicht definitiv ausgewertet!), ein Wert, der für die Windkraftnutzung am vorgesehenen Standort aber nicht ausreichend ist. Grössere Sicherheit über die Windgeschwindigkeiten werden wir bekommen, wenn die Daten in einen grösseren Zeithorizont eingepasst werden können, d.h. innerhalb der kommenden Monate. Auf jeden Fall müssen die Windwerte, welche auf dem 30-m-Mast gemessen worden sind, auf die vorgesehenen Standorte der Windmühlen projektiert werden, da dort mit deutlich besseren Windverhältnissen gerechnet werden kann.

5. PROJEKTBESCHRIEB

Parallel zu den Windmessungen wurden die planerischen Arbeiten für ein mögliches Windenergieprojekt auf der Grimselpasshöhe in Angriff genommen. Diese sind allerdings noch nicht sehr weit gediehen, da wir einerseits unser Projekt auf dem Gotthardpass in erster Priorität vorangetrieben haben und zweitens zuerst mehr Klarheit über die effektiven Windverhältnisse an den vorgesehenen Standorten gewonnen werden muss. Sobald dies erfolgt ist und die Windwerte ausreichend gut sind, werden diese Punkte in Angriff genommen. Dazu gehören u.a. Aspekte des Bewilligungsverfahrens, der Einflüsse auf Mensch und Natur, der Lawinengefahr, Visualisierungen, provisorische Angaben zu möglichen Einspeisevergütungen, Ableitung des generierten Stromes sowie die Klärung logistischer Fragen (Zufahrtbarkeit, Errichtung, Unterhalt, Service), alles unter Berücksichtigung des alpinen Charakters des Projektes.

5.1 GRUNDLAGENERARBEITUNG

Die Kontaktaufnahme mit involvierten Stellen und Interessierten soll zeigen, ob der Errichtung von Windkraftanlagen auf der Grimselpasshöhe grosser Widerstand erwächst, der zu einer Verunmöglichung des Projektes führen würde. Mittels Meetings, Begehungungen und einer offenen Informationspolitik werden die Beteiligten auf dem Laufenden gehalten und deren Standpunkte und Anregungen in unsere Betrachtungen miteinbezogen.

5.2 TEAM UND PARTNER

Die Projektierung und Entwicklung des anspruchsvollen Vorhabens liegt in Händen der NEK Umwelttechnik AG, Zürich. Windkraftprojekte in aller Welt sowie Systeme zur Nutzung erneuerbarer Energien sind die Haupttätigkeitsbereiche unserer Firma. Reichhaltige Erfahrungen im In- und Ausland, fundiertes Know - How sowie die nötige technische und personelle Kompetenz garantieren eine optimale Projektbetreuung.

Für die Projektplanung sowie die Bauausführung werden wir lokale Partner zuziehen und entsprechend die lokale Wirtschaft berücksichtigen. Von Bundesseite her wird das Projekt zur Windpotentialabschätzung durch das BFE unterstützt.

Die Ortsbürgergemeinde von Oberwald, der das Grundstück gehört, ist gegenüber unserem Vorhaben positiv eingestellt. Wir haben mit dieser Instanz einen Vertrag zur Nutzung des Geländes unterzeichnet.

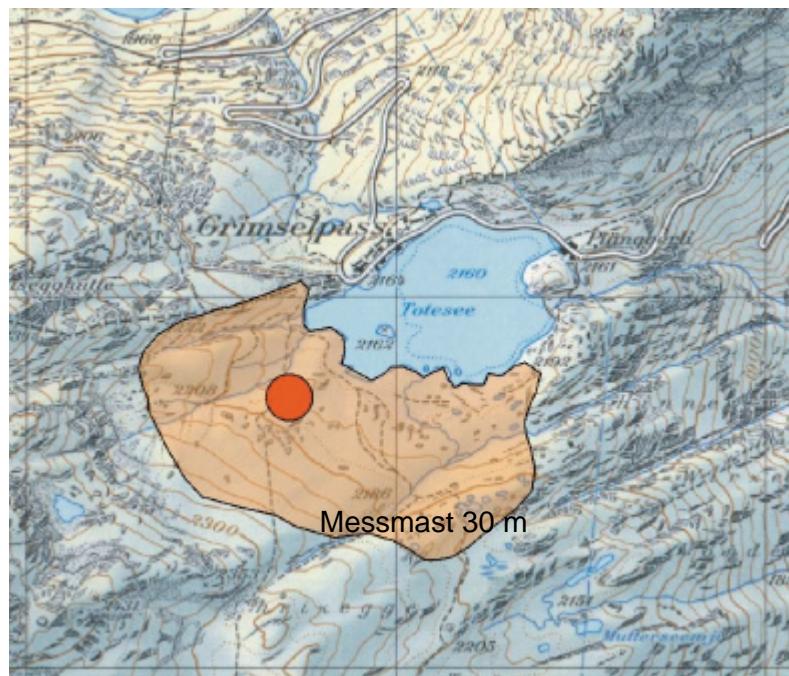
5.3 TERMINPLANUNG

Ohne Anlagenplanung und Ausführungsprojektierung der Windkraftanlagen wurden und werden unsere Arbeiten nach folgendem Terminplan vorgenommen:

Teilschritt	Inhalt	Termin
Projektplanung	Festlegung des Projektumfanges, Messtechnik	10.2000
Windmessung	Durchführung von Windmessungen während 12 Monaten	12.2001
	Verlängerung Messperiode um 6 Monate	07.2002
Modellierung	Windpotentialabschätzung im Projektgebiet	12.2002
Vorprojekt	Klärung der Rahmenparameter zur WKA-Errichtung	05.2003
Bauvoranfrage	Eingabe Bau-Voranfrage oder Vorprojekt	04.2003
Schlussbericht	Zusammenfassung der Windmess-Ergebnisse	12.2002
1. Äusserung Kt.	Stellungnahme zur Bauvoranfrage	06.2003
Infoanlass	Orientierung der Bevölkerung	09.2003

Tabelle 2: Terminplan NEK Umwelttechnik AG für die Vorgehensweise auf dem Gotthard.

5.4 DEFINITION DES PROJEKTPERIMETERS



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie (JA022180)

Abbildung 2: Perimeter Projektgebiet Grimsel und Standort der 30m-Messstation.

Obige Angaben sind als provisorisch zu betrachten. Viele andere Randbedingungen, wie zum Beispiel die Lawinengefahr oder Minimalabstände zu Strassen und Häusern, etc. lassen Einschränkungen im letztendlich nutzbaren Gebiet erwarten. Erste Reduktionen anhand von einigen dieser Randbedingungen führten zur Definition möglicher Windzonen (Karte oben rechts).

5.5 PROJEKTGRÖSSE

Aufgrund bewilligungstechnischer Gegebenheiten kann es erforderlich sein, das Gesamtprojekt zu etappen, d.h. zuerst nach RPG 24 ca. 2 Anlagen genehmigen zu lassen und in der Folge dann die übrigen Anlagen mit einem normalen Bauantrag nach einer entsprechenden Umzonierung an den Standorten zur Bewilligung zu bringen. Zum heutigen Zeitpunkt kann allerdings noch nicht gesagt werden, ob eine Umsetzung überhaupt zweckmäßig ist, da zuerst weitere Abklärungen bezüglich der Windverhältnisse erfolgen müssen.

Es ist aus technischen Überlegungen grundsätzlich möglich, rund 6 Anlagen südlich und östlich des Totensees auf Walliser Boden zu stellen. Bei unseren bisherigen Planungen und Begehungungen mit Herstellern von Windmühlen sind wir von WKA-Typen mit einer Leistung von 1.3 MW pro Anlage ausgegangen.

5.6 LANDEIGENTÜMER

Das Gelände der Grimsel Passhöhe ist Eigentum der Gemeinde Oberwald. Diese hat, wie bereits erwähnt, eine Vereinbarung mit uns unterzeichnet, in welcher sie ihre grundsätzliche Einwilligung erteilt, im vorgesehenen Perimeter Windmessungen durchzuführen und ein Projekt zu entwickeln. Allerdings muss, sofern ein Projekt dann weiterverfolgt wird, mit der Gemeinde fundiert über einen langjährigen Vertrag verhandelt werden.

5.7 SCHUTZGEBIETE NATUR

Hier wurden noch keine detaillierteren Abklärungen getroffen.

5.8 SICHTBARKEIT VON ENTFERNTEN STANDORTEN

Als grösste „Umweltbelastung“ von Windkraftanlagen gilt die Beeinträchtigung des Landschaftsbildes. Ob die drehenden Windräder als schön und elegant oder als störend empfunden werden, ist letztendlich eine persönliche Empfindung, kann je nach Situation ändern und hängt von vielen Faktoren ab:

- Persönliche Einstellung der Person gegenüber Windkraftanlagen
- Standort des Betrachters (nah, fern, von über- oder unterhalb der Anlage)
- Wetter und Farbe der Windmühle
- Grösse und Art der Windmühle
- Anzahl der Windmühlen

Generell ist die visuelle Reduktion der Beeinträchtigungen geringer, wenn

- ... die Windmühlen nicht auf exponierten Gipfeln und Graten stehen und ihr Standort schlecht einsehbar ist.
- ... die Windmühlen nur von wenigen bewohnten Gebieten aus dauernd sichtbar sind.
- ... die Windmühlen in bereits optisch belasteten Gebieten stehen und unberührte Gebiete gemieden werden.
- ... die Windmühlen farblich der Umgebung angepasst sind.
- ... die Grösse der Anlagen in Relation zu Referenzobjekten der Umgebung nicht massiv dominiert.

Einige dieser Vorgaben stehen dabei im Gegensatz zu den Anforderungen an einen ertragreichen und rentablen Windkraftstandort. So weht der Wind naturgemäß auf Gipfeln und Graten, welche gut einsehbar sind, am stärksten, und grössere Windkraftanlagen können den Strom günstiger produzieren als kleine.

Aber gerade auf der Grimselpasshöhe sind die visuellen Beeinträchtigungen im Vergleich zu anderen Standorten verhältnismässig gering. Von aussen ist das Gebiet mit wenigen Ausnahmen schlecht einsehbar, ausserhalb des engeren Bereiches der Passhöhe werden die geplanten Windkraftanlagen von Bergen verdeckt und somit „unsichtbar“ bleiben. Von der Passstrasse aus werden die Anlagen sehr wohl sichtbar sein, aber nur von wenigen Orten aus „durchstechen“ sie die Horizontlinie. Die bestehende optische Belastung der Gegend durch Staumauern, Hochspannungsleitungen, Militäreinrichtungen, Strassen, etc. ist gegeben, weshalb die Windmühlen nicht einen Eingriff in ein unberührtes Alpental darstellen.

Ausserdem gelten bei vielen Leuten Windkraftanlagen als Symbol für saubere erneuerbare Energien wie auch für eine nachhaltige und zukunftsgerichtete Entwicklung und lösen grundsätzlich positive Assoziationen aus. Gerade auch die Besucherzahlen auf dem Mont Crosin (rund 40'000 Personen pro Jahr) verdeutlichen, dass diese Art Anlagen auch eine Attraktion sein können, welche Besucher anzieht.

Zur grundsätzlichen Beurteilung der visuellen Auswirkungen werden wir Fotomontagen erstellen, die einzelne virtuell plazierte Windmühlen zeigen. Sobald mehr Klarheit über die Lage und Anzahl der einzelnen Standorte besteht, werden wir weitere Fotomontagen und Visualisierungen erstellen.

5.9 GESCHÜTZTE OBJEKTE HEIMATSCHUTZ/DENKMALSCHUTZ

Hier werden die entsprechenden Studien zu einem späteren Zeitpunkt vorgenommen.

5.10 VORBELASTUNG DES GEBIETES

Aus Gründen des Landschaftsschutzes ist es erwünscht und auch sinnvoll, dass neue Windenergieanlagen in bereits belastete Gebiete zu stehen kommen und nicht unberührte Gegenden belasten. Als Vorbelastung gelten im Zusammenhang mit der Landschaftsökologie alle stofflichen oder energetischen Belastungen, die sie nicht mehr als natürlich oder quasi-natürlich bezeichnen lassen. Anlass zu detaillierteren Betrachtungen ergeben sich in Bezug auf die Windkraft vor allem aus den optischen und baulichen Vorbelastungen.

Betrachtet man die Situation auf der Passhöhe, so findet man diverse Bauwerke, welche den verschiedensten Zielsetzungen dienen und auch verschieden schwere Landschaftseingriffe darstellen. Die Eingriffe haben sowohl optische Auswirkungen als auch Terrainveränderungen bewirkt. Folgende diesbezügliche Aspekte müssen noch untersucht werden:

- Staumauern
- Vorhandene Strassen und Wege
- Bestehende Häuser
- Militärische Bauwerke (auch unter Terrain)
- Leitungsmasten und Stromleitungen
- Nutzungsbedingte Vorbelastungen

5.11 GEFahrenZonen

Teile Projektperimeters unseres Gebietes befinden sich wahrscheinlich in Gefahrenzonen. Während nur die steileren Hangpartien der Steinschlaggefahr ausgesetzt sind, könnte die Lawinengefahr grössere Zonen beeinträchtigen. Für die genaue Standortbestimmung der Windkraftanlagen wird ein Gutachten erstellt, welches den Gefährdungsgrad und die zu erwartenden Bauwerksbelastungen abklärt.

5.12 BEWOHNTe GEBÄUDE UND BESUCHTE ORTE

Auf der Passhöhe befinden sich keine ganzjährig bewohnten Gebäude. Die Restaurants und Häuser sowie die Alphütten sind nur im Sommer bewohnt (~ Mai bis Oktober). Die militärischen Anlagen sind nicht mehr bewohnt.

Die grösste Besucherdichte trifft man im Sommer an, wenn die Passstrasse viele Auto-, Fahrrad- und Motorradfahrer anlockt. Nach der Bergankunft kehren viele Passbegeher in den Restaurants ein oder lassen sich für ein Picknick nieder. Der Schwerpunkt dieser Aktivität liegt eindeutig im unmittelbaren Umkreis der Restaurants, unmittelbar an der Passtrasse.

Der Wintertourismus beschränkt sich auf einige Skitourenrouten zur Besteigung der umliegenden Berge.

Fazit: Die **Einsehbarkeit** ist topographisch bedingt klein und die Periode, während welcher Personen die Anlagen sehen können, kurz. Auch wird das oftmals schlechte Wetter die Sichtbarkeit beeinträchtigen.

5.13 EINSPEISEMÖGLICHKEITEN FÜR DEN PRODUZIERTEN STROM

Hierfür sind noch keine tieferen Abklärungen erfolgt, da zuerst über die Windverhältnisse Klarheit herrschen muss, um Aussagen über die einzuspeisenden Energien (MWh/a) machen zu können.

6. ABKLÄRUNGEN BEI BEHÖRDEN UND VERBÄNDEN

Auch hierzu können wir erst nach Abschluss der Windmessungen nähere Informationen abgeben.

7. WIRTSCHAFTLICHKEITSBETRACHTUNGEN

Dieser Punkt wird dann beleuchtet, wenn belastbare Angaben zu den effektiven Windverhältnissen vorliegen, d.h. wenn das Windmodelling gemacht sein wird.

8. AUSBLICK

Das Gesamtprojekt von ca. 6 Windmühlen zu 1'300 kW Nennleistung ist in Arbeit. Ein grosser Unsicherheitsfaktor stellt neben den Windverhältnissen und der Zufahrbarkeit zu einzelnen WKA-Standorten der noch nicht genau definierte Bewilligungs- und Instanzenweg für unser Windkraftprojekt und die einem solchen Projekt allenfalls erwachsende Opposition dar.

Alle bisher kontaktierten Stellen waren dem Projekt gegenüber positiv gesinnt oder zumindest offen für die Errichtung von Windmühlen. Fundamentalopposition sind wir bislang nicht gegenübergestanden.

Die bisherigen Ergebnisse der Windmessungen liegen unter unseren Erwartungen. Hierzu müssen somit weitere Untersuchungen angestellt werden.

NEK UMWELTTECHNIK AG

Dr. Ch. Kapp

R. Brenni

Anhang: Fotodokumentation und Fotomontagen

Zürich, 30. September 2002 Kp/Br/re

KurzberichtVorprojekt30102002def.doc

FOTODOKUMENTATION UND FOTOMONTAGEN



Bild 1: Materialverlad für Helikoptertransport



Bild 2: Helikoptertransport



Bild 3: Zusammenbau des Mastes



Bild 4: Hochziehen des Mastes



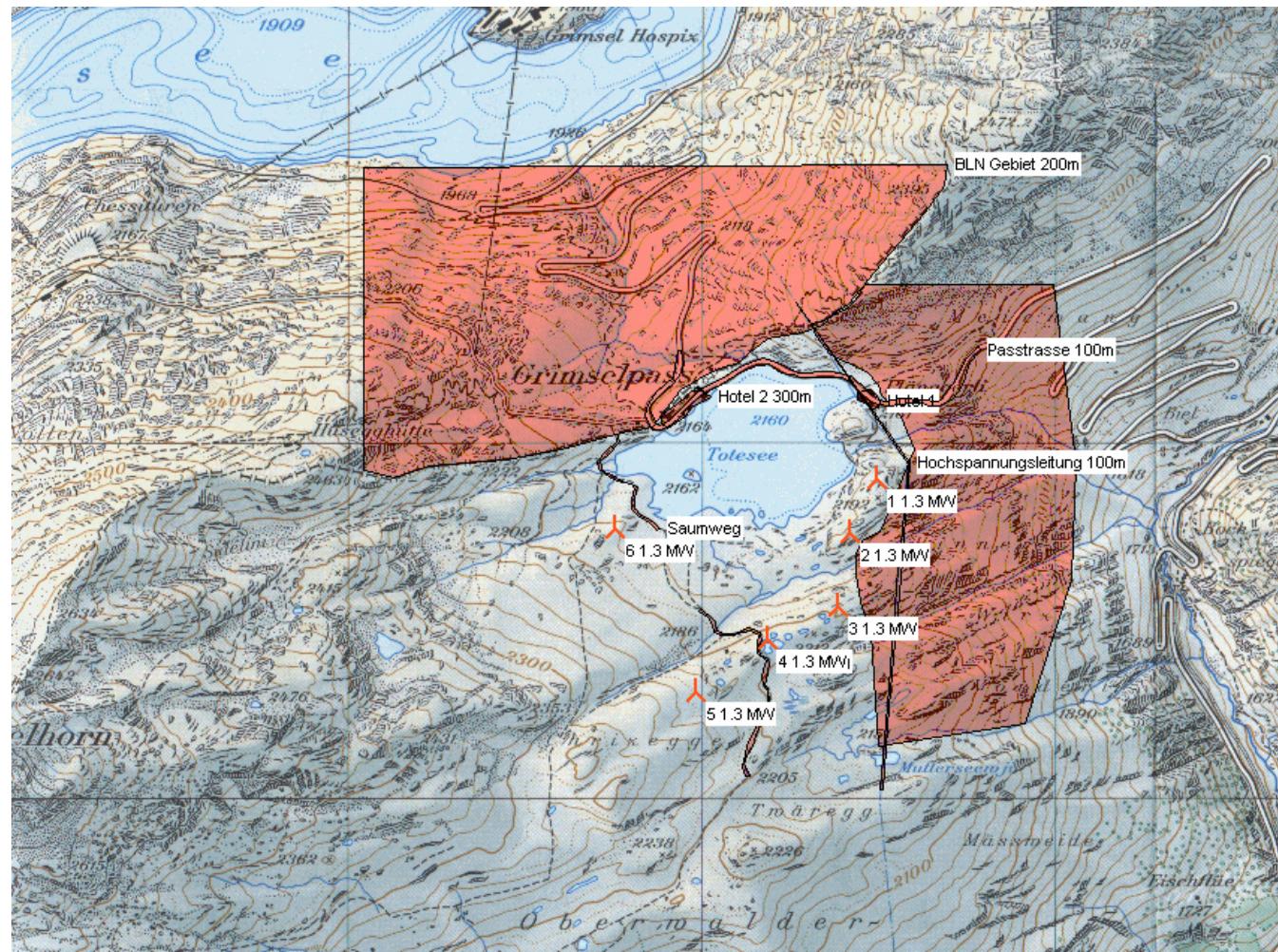
Bild 5: Endstellung des Mastes



Bild 6: Fotomontage.

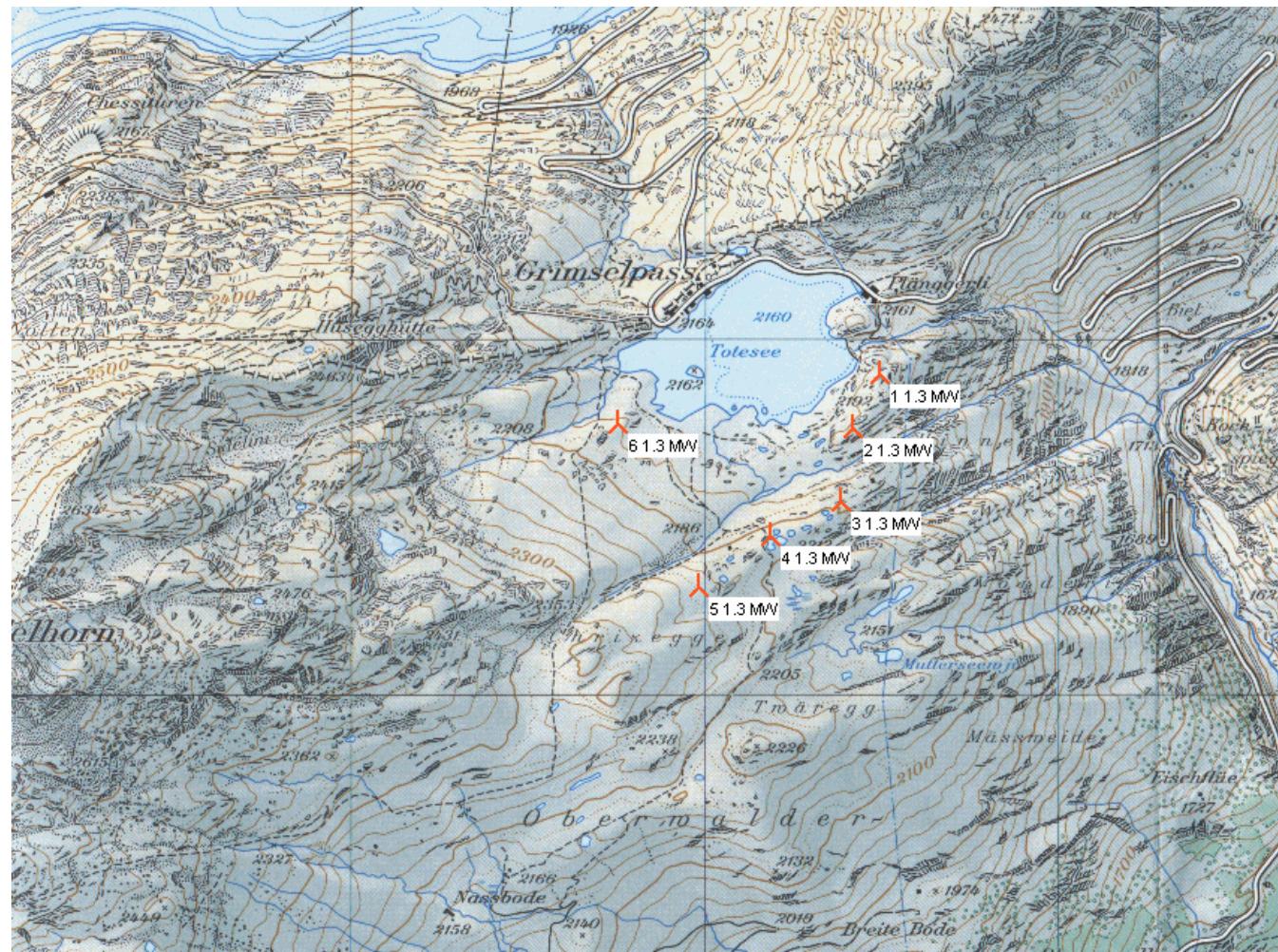


Bild 7: Fotomontage, Luftbild.



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie (JA022180)

Bild 8: Schutzzonen auf dem Grimselpass.



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie (JA022180)

Bild 9: Ausschnitt Landeskarte 1 : 25'000 mit den eingetragenen Standorten der vorgesehenen 1.3 MW WKA.