

Schlussbericht vom 28. Oktober 2002

Potential- und Standortabklärungen für ein Windenergieprojekt auf dem Gotthardpass

Airolo TI

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 auf dem Gotthardpass zur Errichtung von Windkraftanlagen eignet. Dazu wurden umfangreiche, standortbezogene Windmessungen und ein computergestütztes Windmodelling durchgeführt sowie möglichst viele der notwendigen Rahmenparameter im Zusammenhang mit der möglichen Errichtung von Windenergieanlagen auf dem Gotthardpass geklärt.

Die Windmessungen wurden mit einem 17 m hohen Messmast im Dezember 2000 aufgenommen, der im Juli 2001 auf 30 m aufgestockt worden ist. Zudem wurden an mehreren Standorten mit leicht verschiebbaren 10-m-Masten die Windverhältnisse erfasst, um genauere Angaben zu lokalen Unterschieden der Windverhältnisse zu erhalten. Die Messungen auf einem dieser 10-m-Masten laufen nach wie vor.

Die durchgeführten Untersuchungen und Abklärungen haben gezeigt, dass die Windverhältnisse auf dem Gotthardpass grundsätzlich ausreichen, um eine Windenergieprojekt umzusetzen. Auf einer Höhe von 50 m über Boden kann mit einer langjährigen, mittleren Windgeschwindigkeit von 6.2 - 6.3 m/sec gerechnet werden. Das Windmodell zeigt, dass auf dem gesamten, für die Errichtung von Windenergieanlagen vorgesehenen Gebiet auf dem Gotthardpass ein ähnlich grosses Windpotential vorhanden ist.

Aufgrund der ermutigenden Windverhältnisse wurden zudem Ingenieur- und Entwicklungsarbeiten im Zusammenhang mit der Planung und Realisierung von Windkraftanlagen auf dem Gotthardpass durchgeführt. Zum heutigen Zeitpunkt ist vorgesehen, ca. 7 Anlagen der Megawattklasse zu errichten, so dass das umzusetzende Projekt eine Grossse von rund 9 MW erreichen dürfte. Die Abklärungen mit den Behörden sowie mit einem interessierten Energieversorgungsunternehmen zeigen zudem, dass von jener Seite Interesse an diesem Projekt besteht. Der generierte Strom könnte relativ nahe in bestehende Leitungen eingespiesen werden, ein Verkauf des Stromes zu den aktuellen, marktüblichen Preisen scheint möglich.

Der im Zusammenhang mit dem durch das Bundesamt für Energie erteilte Auftrag ist mit der Ablieferung dieses Schlussberichtes beendet. Wir planen jedoch an der Umsetzung des Projektes weiter und sind überzeugt, einen guten Standort gefunden zu haben, an welchem in naher Zukunft Windenergieanlagen saubere Energie erzeugen werden.

ABSTRACT

The aim of this project was to check carefully, whether the chosen site on the Gotthard Pass in Switzerland is suitable for the installation of wind turbines. For that reason, we have started late in the year of 2000 with comprehensive wind and climate measurements and used the results to carry out a wind potential estimation. Beside that, all the other points and parameters that are linked to get a building permission for a wind energy project at the chosen site were checked.

After installing a 17 m high measuring tower, data collection started back in December 2000. In July 2001 the tower was upgraded to 30 m. Beside that, several potential wind turbine sites were checked out with a small, portable 10 m tower. This helped to get a better understanding of the local wind conditions.

Finally, the analysis of the measurements and qualitative considerations lead to the conclusion, that the wind conditions on the Gotthard Pass are satisfying. 50 m above ground a long term correlated mean wind speed of 6.2 to 6.3 m/s can be expected. Due to the wind modelling, the entire area taken into consideration for the wind energy project seems to have wind speeds in the range of the results at the 30 m measuring site. On the other hand, vertical flow and turbulence intensities, which influence the energy yield and the electrical output of the turbine, can not be simulated by the model. Most affected of this phenomenon are the turbine sites near the long and steep slopes, mainly in the southern part of the area.

Backed by the encouraging wind conditions, engineering tasks were already carried out. Most of them were related to the planning and the realisation of the pre project on the Gotthard. Actually, some 7 turbines of the megawatt category are planned; thus total installed capacity would be around 9 MW. Our requests have shown that an energy group is rather interested in the project and that the authorities are co-operative. Nearby electrical installations are able to transport the generated energy to the next substation, from where the regional and national grid can be reached.

First economical studies concluded feed-in electricity prices, which are competitive to the actually paid market prices for wind energy in Switzerland.

RIASSUNTO

L'obiettivo di questo progetto era quello di chiarire in modo assodato, quanto la zona del Passo del S. Gottardo sia idonea per la realizzazione di un parco eolico. A questo scopo sono state effettuate minuziose misurazioni del vento estese su tutto il territorio del progetto come anche una modellizzazione del vento al computer; inoltre sono stati appurati molti dei parametri associati ai possibili impianti installabili sul Passo del S. Gottardo.

Le misurazioni del vento sono iniziate con una stazione di misura alta 17 m installata durante il mese di Dicembre 2000; questa stazione è poi stata innalzata fino a 30 m d'altezza. Oltre a questa stazione è stata utilizzata in tre punti della zona in questione una stazione di misura alta 10 m facilmente spostabile, questo per avere delle indicazioni sulle differenti condizioni locali. Questa stazione è tutt'ora in funzione.

Le ricerche effettuate hanno mostrato, che le condizioni del vento sul Passo del S. Gottardo sono sufficienti per la realizzazione di un parco eolico. Ad un'altezza di 50 m dal suolo si può contare su velocità medie pluriennali del vento di 6.2 - 6.3 m/sec. Il modello del vento mostra che sull'interna area interessata dal progetto vige un potenziale eolico di simile intensità.

Date le condizioni del vento incoraggianti sono stati eseguiti lavori in relazione alla progettazione e all'implementazione di aerogeneratori sul Passo del S. Gottardo. Ad oggi è prevista l'installazione di 7 impianti della classe megawatt, così che il progetto da realizzare dovrebbe raggiungere una potenza di circa 9 MW. Gli accertamenti con le autorità così come con le società elettriche interessate dal progetto mostrano che da parte di questi sussiste un notevole interesse. L'energia prodotta potrebbe venir immessa in linee elettriche esistenti relativamente vicine agli impianti, mentre la vendita dell'energia a prezzi di mercato correnti sembra possibile.

L'incarico assegnato dall'Ufficio Federale dell'Energia termina con la consegna di questo rapporto finale. Da parte nostra continuiamo nella pianificazione con l'obiettivo di realizzare il progetto, in quanto convinti di aver trovato un sito adatto, dove in un futuro prossimo aerogeneratori produrranno energia pulita.



AUFTAGGEBER: 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
Gotthardpass, Airolo, Tessin, Schweiz

KOSTENANGEBOT: 10. Oktober 2000

VERTRAG: 19. Oktober 2000

AUFTAG:

- 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

AUSGEFÜRTE ARBEITEN:

- Installation der erforderlichen Messeinrichtungen auf dem Grundstück (1 Messmast à 30 m Höhe und 1 Messmast à 10 m Höhe)
- Aufnahme des Messbetriebes auf dem Gotthardpass (17-m-Mast) am 01. Dezember 2000. Im Juli 2001 wurde der Messmast dann auf 30 m aufgestockt.
- Permanente Registrierung der Messdaten sowie deren regelmässige Auslesung ab Messbeginn
- Periodische Auswertung der Messdaten
- Abklärungen mit den Behörden
- Ausarbeitung des ersten Zwischenberichts vom 02. Oktober 2001
- Ausarbeitung des zweiten Zwischenberichts vom 16. Mai 2002
- Ausarbeitung des hier vorliegenden Schlussberichtes vom 28. Oktober 2002

BEILAGEN:

- Karte des Projektgebietes
ALWIN-Auswertungen der Ergänzungsstation
WindPro-Auswertungen der Ergänzungsstation
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 MESSAUSRÜSTUNG	17
3.2.1 Referenzstation	17
3.2.2 Ergänzungsstation	18
3.3 MESSSTANDORTE UND MESSPERIODEN	19
3.4 MESSKONFIGURATION	20
4. MESSDATEN	22
4.1 DATENVERFÜGBARKEIT	22
4.2 DATENLÜCKEN	22
5. DATENVERVOLLSTÄNDIGUNG	26
5.1 ABWEICHUNGEN DER ANEMOMETER	26
5.2 DATENLÜCKEN SCHLIESSEN	30
5.3 VERFAHREN ZUR DATENAUSWAHL FÜR JEDES MESSNIVEAU	32
6. DATENSÄTZE MESSSTATION GOTTHARD	34
6.1 BEREINIGTER DATENSATZ	34
6.2 VOLLSTÄNDIGER DATENSATZ	36
6.3 LANGJÄHRIGER DATENSATZ	37

7. AUSWERTUNG	38
7.1 RESULTATE DER MESSUNGEN	38
7.1.1 Messresultate Messstation Gotthard	39
7.2 TURBULENZANALYSE	46
7.3 DICHTEANALYSE	49
7.4 BLITZSTATISTIK	51
7.5 ABSCHÄTZUNG DER VEREISUNGSGEFAHR	54
7.6 ABSCHÄTZUNG DES WINDPOTENTIALS AUF NABENHÖHEN	58
7.6.1 Vorgehen zur Berechnung des Windpotentials auf Nabenhöhen	58
7.6.2 Das Windpotential auf Nabenhöhe	60
8. DISKUSSION DER RESULTATE	62
8.1 EXTRAPOLATION AUF NABENHÖHEN	62
8.2 ABSCHÄTZUNG DES LANGJÄHRIGEN WINDPOTENTIALS	63
9. FEHLERABSCHÄTZUNG	66
9.1 ZUSAMMENFASSUNG	66
9.2 NACHEICHUNG	67
9.3 RECHENFEHLER	68
9.4 FEHLER DER BEREINIGTEN DATEN	69
9.4.1 Fehler durch individuelle Anemometer-Unterschiede	69
9.4.2 Fehler durch Installation	69
9.4.3 Gesamter Fehler der bereinigten Daten	70
9.5 FEHLER DER VOLLSTÄNDIGEN DATEN	70
9.6 FEHLER VON MONATS- UND JAHRESMITTELWERTEN IN MESSHÖHEN	72
9.7 FEHLER DER EXTRAPOLATION AUF NABENHÖHE	72
9.8 FEHLER DER ABSCHÄTZUNG DES LANGJÄHRIGEN WINDPOTENTIALS	72
9.9 ABWEICHUNGEN ZU ANDEREN MESSKONFIGURATIONEN	73
9.9.1 Abweichung durch Anemometer-Typ	73
9.9.2 Unterschiede Windkanal - Outdoor	74
9.9.3 Windscherung	74
9.9.4 Overspeeding in Turbulenz	74

10. WASP - MODELLIERUNG	75
10.1 VORGEHEN	75
10.1.1 Kartenmaterial	75
10.1.2 Winddaten	75
10.2 BERECHNUNGEN	76
10.2.1 Methodik	76
10.2.2 Ressourcenkarte	76
10.2.3 WAsP-Interface	77
10.3 ERGEBNISSE	77
10.3.1 Kalibration	77
10.3.2 Resultate	78
10.3.3 Ertragsberechnung	78
11. ANFORDERUNGEN AN DIE EINZUSETZENDEN WKA	79
11.1 GENERELLES	79
11.2 TURBULENZ	79
11.3 BÖENSPITZEN	80
11.4 VEREISUNG	80
11.5 ZUFAHRBARKEIT	81
11.6 BODENBESCHAFFENHEIT	81
12. AUSBLICK	82
13. ANHANG	83
13.1 WINDKRAFTZONEN GOTTHARD PASSHÖHE	
13.2 WINDPRO-AUSWERTUNGEN 30 M MESSMAST	
13.3 WINDPRO-AUSWERTUNGEN 10 M MESSMAST DAMM UND SELLA	
13.4 ALWIN-AUSWERTUNGEN DER ERGÄNZUNGSSTATION WAGENHEBER	
13.5 WINDSTATISTIKEN	
13.6 WINDPROFILE DAMM, SELLA UND WAGENHEBER	
13.7 RESSOURCENKARTE (50 M UND 70 M)	
13.8 WINDPARKBERECHNUNG	
13.9 POTENTIAL- UND STANDORTABKLÄRUNGEN FÜR EIN WINDENERGIEPROJEKT AUF DEM GOTTHARDPASS	

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

	Seite
Abb 1. Messstandorte 30-m-Mast und 10-m-Mast.	19
Abb 2. Grafische Darstellung der Datenverfügbarkeit über die Messperiode pro Sensor: IF = NRG Ice Free II, #40 = NRG #40 Max.	25
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.	27
Abb 4. Korrelation der Messungen des Ice Free Anemometers mit den Messungen des #40 Max Anemometers auf 10 m. Die Gleichung der Regressionsgerade gilt für Werte ab 3 m/s: $y = 0.982 x + 0.346$	28
Abb 5. Korrelation der Messungen des Ice Free Anemometers mit den Messungen des #40 Max Anemometers auf 17 m. Die Gleichung der Regressionsgerade gilt für Werte ab 3 m/s: $y = 0.985 x + 0.366$.	29
Abb 6. Korrelation der Messungen des Ice Free Anemometers mit den Messungen des #40 Max Anemometers auf 30 m. Die Gleichung der Regressionsgerade gilt für Werte ab 3 m/s: $y = 0.970 x + 0.308$.	30
Abb 7. Häufigkeitsverteilung der rekonstruierten Windgeschwindigkeit am Standort Gotthard in 10, 17 und 30 m Höhe. vmed bezeichnet die mittlere Windgeschwindigkeit.	42
Abb 8. Verlauf der rekonstruierten Windgeschwindigkeit am Standort Gotthard (gleitender Tagesmittelwert) in 10, 17 und 30 m (links).	43
Abb 9. Gleitende Tagesmittelwerte der Schneehöhe (rechts).	43
Abb 10. Gleitende Tagesmittelwerte der Temperatur (links).	44
Abb 11. Gleitende Tagesmittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit (rechts).	44
Abb 12. Tagesgang der Windgeschwindigkeit am Standort Gotthard in 30 m Höhe.	45
Abb 13. Windrose am Standort Gotthard in 30 m Höhe.	45
Abb 14. Energierose (Leistungsdichte) für das Jahr 2001 am Standort Gotthard in 30 m Höhe. Unterteilung in eine mögliche Anlauf- und Nennwindgeschwindigkeit von Windkraftanlagen von 6 bzw. 12 m/s.	46
Abb 15. Turbulenzintensität am Standort Gotthard 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.	47

Abb 16. Turbulenzrose am Standort Gotthard in den Höhen 10, 17 und 30 m.

Abb 17. Langjähriges (1990 - 2001), maximales und minimales Monatsmittel

aufgezeichneter Fernblitze der Meteostation Gütsch. Quelle: MeteoSchweiz.

52

Abb 18. Langjähriges (1990 - 2001), maximales und minimales Monatsmittel

aufgezeichneter Nahblitze der Meteostation Gütsch. Quelle: MeteoSchweiz.

52

Abb 19. Grafische Darstellung der Vereisungsabschnitte im Juni 2001 und November

2001 auf dem 17-m-Messniveau (IF = geheizter Anemometer auf 17 m, #40 Max = ungeheizter Anemometer auf 17 m). Lücken der blauen Linie bezeichnen Abschnitte der Vereisung, die mit der Methode des Vergleichs mit dem geheizten Sensor gefunden wurden. Lücken der grünen Linie bezeichnen Abschnitte der Vereisung, die mit der Methode des Frostpunkts gefunden wurden.

55

Abb 20. Die berechnete Wind-Häufigkeitsverteilung auf den Nabenhöhen 50 m und 60 m

über Boden am Standort Gotthard.

61

Abb 21. Mittleres vertikales Windprofil am Standort Gotthard.

62

Abb 22. 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 0.035.

71

Abb 23. Verhältnis der gemessenen (#40-Max-Anemometer) mit den aus den Ice-Free-II-

Daten von 17 m extrapolierten Windgeschwindigkeiten auf 30 m für (relevante) Geschwindigkeiten von über 3 m/s. Die Standardabweichung beträgt 0.038.

71

TABELLENVERZEICHNIS

	Seite
Tab 1. Messausrüstung Referenzstation Gotthard bis zum 10. Juli 2001.	17
Tab 2. Messausrüstung Referenzstation Gotthard ab dem 10. Juli 2001.	17
Tab 3. Messausrüstung Ergänzungsstation Gotthard von 15. August 2001 bis 10. Oktober 2001.	18
Tab 4. Messausrüstung Ergänzungsstation Gotthard von 5. Juni 2002 bis 18. Juni 2002.	18
Tab 5. Messausrüstung Ergänzungsstation Gotthard (Sella) ab dem 09. Juli 2002 (diese Messung läuft noch).	18
Tab 6. Messstandorte und Messperioden.	19
Tab 7. Messkonfiguration der 30 m Station Gotthard.	20
Tab 8. Messkonfiguration der 10-m-Station Gotthard (Wagenheber).	20
Tab 9. Messkonfiguration der 10-m Station-Gotthard (Damm).	21
Tab 10. Messkonfiguration der 10 m Station Gotthard (Sella).	21
Tab 11. Datenverfügbarkeit pro Messniveau.	22
Tab 12. Messlücken auf der Referenzstation.	22
Tab 13. Ausfälle der einzelnen Sensoren in Tagen.	24
Tab 14. Datenformat der bereinigten Datei der Station Gotthard.	35
Tab 15. Datenformat des vollständigen Datensatzes der Station Gotthard.	36
Tab 16. Datenformat des langjährigen Datensatzes.	37
Tab 17. Monatliche Mittelwerte [m/s] und maximale 10-Minuten-Mittelwerte der Windgeschwindigkeit (WG) am Standort Gotthard. Die rot markierten Mittelwerte stammen von unvollständigen, monatlichen Datenreihen (Vereisungstage).	39
Tab 18. Monatliche 2-Sekunden-Böenspitzen am Standort Gotthard. Die rot markierten Mittelwerte stammen von unvollständigen, monatlichen Datenreihen (Vereisungstage).	40
Tab 19. Zusammenfassung Standort Gotthard: Mittelwerte, Minima, Maxima und Standardabweichungen der Ergänzungsmessungen für das Jahr 2001. Das Maximum der Schneehöhenmessung gilt für den Winter 2001/2002, da der Sensor im Winter 2000/2001 defekt war.	41
Tab 20. Analyse der Turbulenzintensität am Standort Gotthard in 30 m Höhe: Die Werte sind in Funktion der Windrichtung und Windgeschwindigkeit angegeben. Die Tabelle gilt für die Messperiode vom 10. Juli 2001 - 10. Juli 2002, weil vorher keine Standardabweichungen auf 30 m gemessen wurden.	48

Tab 21. Abgeschätzte, langjährige (1961-1990) Monatswerte der Luftdichte am Standort Gotthard.	50
Tab 22. Langjähriges (1990 - 2001), maximales und minimales Monatsmittel (MM) aufgezeichneter Fern- und Nahblitze der Meteostation Gütsch. Quelle: MeteoSchweiz.	51
Tab 23. Durchschnittliches (Periode 2000 - 2002), maximales und minimales Monatsmittel (MM) aufgezeichneter Fern- und Nahblitze der Meteostation Bern-Liebefeld. Quelle: MeteoSchweiz.	53
Tab 24. Anzahl abgeschätzter Frosttage im Messjahr 2001/2002. Frosttag 1. Methode = Tag, an welchem der ungeheizte Anemometer in 17 m Höhe in mindestens 6 10-Minuten-Mittelwerten pro Tag mehr als 20 % vom geheizten Sensor gleicher Höhe abweicht. Frosttag 2. Methode = Tag, an welchem die Differenz aus Taupunkt und Temperatur mindestens einmal in einem 10-Minuten-Mittelwert kleiner als 3 Grad betragen hat und die Temperatur gleichzeitig unter Null Grad Celsius liegt. Meteorologischer Frosttag = Tag, in dem mindestens ein 10-Minuten-Mittelwert der Temperatur unter null Grad liegt. Meteorologischer Eistag = Tag, in dem die Temperatur den ganzen Tag unter null Grad liegt.	57
Tab 25. Die Parameter α mit Mittelwert, Minima, Maxima und Standardabweichung.	59
Tab 26. Die berechneten monatlichen Windgeschwindigkeiten (WG) und Leistungsdichten (LD) auf Nabenhöhen 50 und 60 m über Boden am Standort Gotthard.	60
Tab 27. Benachbarte Meteostationen der Station Gotthard mit Korrelationen mit den Messungen in 10 m Höhe der Station Gotthard. Korrelation von Monatsmitteln.	63
Tab 28. Verhältnisse der langjährigen Daten 1983 - 1997 (Langj.) und der Messperiode (MP) der Stationen Matro und Generoso.	64
Tab 29. Das langjährige Windpotential am Standort Gotthard (WG = Windgeschwindigkeit).	65
Tab 30. Resultate der Nacheichung der eingesetzten #40-Max-Anemometer.	68
Tab 31. Resultate der Nacheichung der eingesetzten Ice-Free-II-Anemometer.	68
Tab 32. Unterschiede zwischen berechneten und gemessenen mittleren Windgeschwindigkeiten auf 10 m Höhe.	77

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 Gotthardpasshöhe als ein möglicher Standort eignen würde.

Mit Datum vom 23. Oktober 2000 haben wir aufgrund eines Angebotes an das Bundesamt für Energie (BFE) den Auftrag erhalten, das Windpotential auf dem Gotthardpass zu untersuchen und zu klären, ob an diesem Standort ein Windenergieprojekt auch wirklich umsetzbar ist. In der Folge wurden mit umfangreichen Messungen an mehreren Standorten 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 Gotthardpasshöhe relevante Parameter geklärt: So wurde ein umfangreiches technisches Vorprojekt bei den Behörden eingereicht (Bauvoranfrage), um von jener Seite eine grundsätzliche Beurteilung des Vorhabens zu erhalten. Eine definitive Stellungnahme zu diesem Aspekt steht bei Drucklegung dieses Berichtes noch aus. 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 einzelnen Grundeigentümern Verträge über die Verpachtung möglicher Grundstücke geschlossen sowie massgebliche Kreise wie das Militär (VBS) sowie die auf dem Gotthard sehr aktive Stiftung „La Claustra“ in das Projekt involviert. Mit einem regionalen Energieversorger, der Firma AET (Azienda Elettrica Ticinese) wurden diverse Gespräche über eine mögliche Beteiligung am Projekt sowie die Abnahme des generierten Stromes geführt, welche zu einer Vertraulichkeitserklärung und einem Memorandum of Understanding führten. Die AET würde grundsätzlich den erzeugten Windstrom abnehmen, verteilen und weiterverkaufen.

Im weiteren wurden diverse umweltrelevante Aspekte im Zusammenhang mit der Errichtung von Windmühlen an den vorgesehenen Standorten geklärt. Auch hier ist grundsätzlich mit keinen größeren Problemen bei der möglichen Umsetzung des Vorhabens zu rechnen.

Wir bedanken uns an dieser Stelle für die Beteiligung des BFE an diesem Projekt und hoffen auf eine erfolgreiche Realisierung desselben in naher Zukunft.

2. AUSGEFÜHRTE ARBEITEN

Neben der Abklärung der zahlreichen Rahmenparameter, welche für die Errichtung eines Windparks auf der Gotthardpasshöhe notwendig sind und von uns parallel zu den Messungen laufen, sowie neben den eigentlichen Vorprojekt- und Projektarbeiten 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 Vorprojektbeschrieb vom 23. September 2002.

Nach dem Beginn punktueller Windmessungen auf einem 17-m-Mast im Dezember 2000 wurde dieser Mast im Juli 2001 auf 30 m Höhe aufgestockt. Es war zwar grundsätzlich vorgesehen, diesen Mast bereits im Dezember 2000 auf 30 m zu errichten, doch liessen dies die garstigen Witterungsbedingungen damals nicht zu. 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 zugreifen. Aufgrund von Vereisungsproblemen im Winter 2000 wurde beschlossen, die Messperiode von den ursprünglich vorgesehenen 12 Monaten auf 18 - 20 Monate zu verlängern, um eine bessere Datenverfügbarkeit zu erlangen.

Zusätzlich zu der fix installierten Messung mit dem 30-m-Mast wurde im Sommer 2001 ein 10-m-Mast installiert, um mögliche lokale Unterschiede im Windregime besser erfassen zu können. Da dieser Mast aber nicht wintersicher war, wurde er im Oktober 2001 nach knapp 2-monatiger Messzeit wieder abgebaut.

Im Sommer 2002, als der Gotthardpass wieder zugänglich war, wurde dieser Mast erneut aufgestellt. Er steht noch immer im Einsatz, wird aber in den nächsten Wochen demontiert, da der Anemometer über den Winter einfrieren würde.

Die Standorte der Masten können der Abbildung 1 entnommen werden.

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

3. MESSRESULTATE

3.1 MESSANORDNUNG

Im Projektgebiet auf dem Gotthardpasses wurde eine Referenzstation installiert, welche vorerst eine Höhe von 17 m über Grund aufwies. Der Mast blieb während der gesamten Messdauer stationär. Am 10. Juli 2001 wurde der Mast von 17 m auf 30 m erhöht. Auf dieser Station wurden folgende Messungen vorgenommen:

Messungen auf der **Referenzstation**:

- Windgeschwindigkeit auf drei Höhen niveaus (10 m, 17 m und 30 m über Grund)
- Windrichtung auf 17 m und 30 m über Grund
- Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit ca. 3 m über Grund
- Schneehöhe auf rund 4.5 m über Grund

Das Messintervall auf dieser Referenzstation betrug 2 Sekunden. Daraus wurden 10-Minuten-Mittelwerte gebildet und gespeichert. Zusätzlich wurde die Standardabweichung der Windgeschwindigkeit pro Messhöhe alle 10 Minuten berechnet und gespeichert.

Zusätzlich wurde während der Sommerperioden der Jahre 2001 und 2002 eine Ergänzungsstation (10 m Messmast) aufgestellt. Dort wurden folgende Daten erhoben:

Messungen auf der **Ergänzungsstation**:

- Windgeschwindigkeit auf 10 m über Grund
- Windrichtung auf 10 m über Grund

3.2 MESSAUSRÜSTUNG

3.2.1 Referenzstation

Die folgenden Tabellen spezifizieren die benutzten Datenlogger und Sensoren für die Referenzstation.

Datenlogger	Sensor	Typ	Messparameter	Höhe
Campbell CR10X	Anemometer	NRG #40 MAX	Windgeschwindigkeit	9.7
	Anemometer	NRG #40 MAX	Windgeschwindigkeit	17.5
	Anemometer	NRG Ice Free II	Windgeschwindigkeit	9.7
	Anemometer	NRG Ice Free II	Windgeschwindigkeit	17.5
	Wind vane	NRG 200P	Windrichtung	16.5
	Temp./Feuchte	Rptronic	Lufttemperatur	3.0
	Sonic Ranging	Campbell SR50	Schneehöhe	4.3

Tab 1. Messausrüstung Referenzstation Gotthard bis zum 10. Juli 2001.

Datenlogger	Sensor	Typ	Messparameter	Höhe
Campbell CR10X	Anemometer	NRG #40 MAX	Windgeschwindigkeit	9.7
	Anemometer	NRG #40 MAX	Windgeschwindigkeit	17.5
	Anemometer	NRG #40 MAX	Windgeschwindigkeit	28.7
	Anemometer	NRG Ice Free II	Windgeschwindigkeit	17.5
	Anemometer	NRG Ice Free II	Windgeschwindigkeit	28.7
	Windfahne	NRG 200P	Windrichtung	28.3
	Temp./Feuchte	Rptronic	Lufttemperatur	3.0
	Sonic Ranging	Campbell SR50	Schneehöhe	4.5

Tab 2. Messausrüstung Referenzstation Gotthard ab dem 10. Juli 2001.

3.2.2 Ergänzungsstation

Auf der Ergänzungsstation gelangten folgende Geräte zum Einsatz:

Datenlogger	Sensor	Typ	Messparameter	Höhe
Ammonit Windsiter	Anemometer	NRG #40 MAX	Windgeschwindigkeit	9.3
	Windfahne	NRG 200P	Windrichtung	9.1

Tab 3. Messausrüstung Ergänzungsstation Gotthard von 15. August 2001 bis 10. Oktober 2001.

Datenlogger	Sensor	Typ	Messparameter	Höhe
Windexplorer	Anemometer	NRG #40 MAX	Windgeschwindigkeit	9.3
	Windfahne	NRG 200P	Windrichtung	9.1

Tab 4. Messausrüstung Ergänzungsstation Gotthard von 5. Juni 2002 bis 18. Juni 2002.

Datenlogger	Sensor	Typ	Messparameter	Höhe
Windexplorer	Anemometer	NRG #40 MAX	Windgeschwindigkeit	9.3
	Windfahne	NRG 200P	Windrichtung	9.1

Tab 5. Messausrüstung Ergänzungsstation Gotthard (Sella) ab dem 09. Juli 2002 (diese Messung läuft noch).

Bei den Messungen auf der Ergänzungsstation im Sommer 2001 wurden 10-Minuten-Mittelwerte gebildet und in einer wöchentlichen Statistik gespeichert. Die Windrichtung wird in 12 Sektoren erfasst, wobei für jeden Sektor die Häufigkeit der Windrichtung sowie die zugehörige, mittlere Windgeschwindigkeit angegeben wird. Zusätzlich enthält jede Wochenstatistik den Mittel- und Maximalwert der Windgeschwindigkeit, eine Flautenanalyse sowie den mittleren Tagesgang der Windgeschwindigkeit (s. Anhang 10.2). Bei den Messungen der Ergänzungsstation ab dem 09. Juli 2002 wurde neu ein NRG Windexplorer benutzt, der 10-Minuten-Mittelwerte der Windgeschwindigkeit und der Windrichtung bildet und abspeichert.

3.3 MESSSTANDORTE UND MESSPERIODEN

Tabelle 6 listet die Messstandorte und Messperioden auf.

Standort	Station	Beginn	Ende
	Referenz, Masthöhe 17 m	01.12.2000 08:00	10.07.2000 09:30
	Referenz, Masthöhe 30 m	10.07.2001 16:30	09.08.2002 09:40
1	Ergänzung, Masthöhe 10 m	15.08.2001	10.10.2001
2	Ergänzung, Masthöhe 10 m	05.06.2002	18.06.2002
3	Ergänzung, Masthöhe 10 m	09.07.2002	läuft

Tab 6. Messstandorte und Messperioden.



Abb 1. Messstandorte 30-m-Mast und 10-m-Mast.

3.4 MESSKONFIGURATION

Die folgenden Tabellen spezifizieren die benutzten Datenlogger und Sensoren für den 30-m- und den 10-m-Messmast und gibt die Seriennummern, Montagehöhen über Grund, Ausrichtung gegen den Mast, sowie die vollzogenen Instrumentenwechsel an. Die Angaben entsprechen den vorliegenden Protokollen.

Sensor	Typ	Periode 17-m-Mast			Periode 30-m-Mast		
		Serien- nummer	Höhe [m]	Ausrich- tung	Serien- nummer	Höhe [m]	Ausrich- tung
Anemometer	NRG #40 Max	Got1	9.7	95°	Got1	9.7	94°
Anemometer	NRG #40 Max	Got02	17.5	95°	C043	17.5	100°
Anemometer	NRG #40 Max	-	-	-	Got02	28.7	66°
Anemometer	NRG Ice Free II	III30	9.7	240°	III30	17.5	232°
Anemometer	NRG Ice Free II	III20	17.5	240°	III20	28.7	232°
Windfahne	NRG Ice Free II	30190	16.5	254°	30190	28.3	253°
Temp./Feuc.	Rotronic	18355001	3.0		18355001	3.0	
Schneehöhe	Campbell SR50	MC2139	4.3	170°	MC2139	4.5	174°
Logger: Campbell CR10X							

Tab 7. Messkonfiguration der 30 m Station Gotthard.

Periode 10-m-Mast				
vom 15. August bis 10. Oktober 2001				
Sensor	Typ	Seriennummer	Höhe [m]	Ausrichtung
Anemometer	NRG #40 Max	C 001	9.3	
Windfahne	NRG 200p	G 301	9.2	0°
Logger: Ammonit B0797				

Tab 8. Messkonfiguration der 10-m-Station Gotthard (Wagenheber - 1).

Periode 10-m-Mast
ab 05. Juni 2002

Sensor	Typ	Seriennummer	Höhe [m]	Ausrichtung
Anemometer	NRG #40 Max	H06	9.3	
Windfahne	NRG 200p	0107IG	9.1	25°

Logger: NRG Windexplorer SIN23330521

Tab 9. Messkonfiguration der 10-m-Station Gotthard (Damm - 2).

Periode 10 m Mast
von 15. August bis 10. Oktober 2001

Sensor	Typ	Serien-nummer	Höhe [m]	Ausrichtung
Anemometer	NRG #40 Max	H06	9.3	
Windfahne	NRG 200p	0107IG	9.1	120°

Logger: NRG Windexplorer SIN23330521

Tab 10. Messkonfiguration der 10-m-Station Gotthard (Sella - 3).

4. MESSDATEN

4.1 DATENVERFÜGBARKEIT

Tabelle 11 listet die Datenverfügbarkeit pro Messniveau auf. Die Datenverfügbarkeit ist auf den Tag des Jahres bezogen: Falls z.B. 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
Gotthard	Windgeschwindigkeit 10 m	100 %
	Windgeschwindigkeit 20 m	100 %
	Windgeschwindigkeit 30 m	99.5 %
	Windrichtung	100 %

Tab 11. Datenverfügbarkeit pro Messniveau.

4.2 DATENLÜCKEN

Tabelle 12 listet die Messlücken des gesamten Messsystems auf.

Station	Beginn Messlücke	Ende Messlücke	Dauer	Ursache
Referenz	07.05.2001 00:50	07.05.2001 14:20	13.5 h	Netzausfall
Referenz	10.05.2001 12:50	10.05.2001 13:10	10 min	Wartung
Referenz	12.05.2001 04:10	12.05.2001 04:30	10 min	Wartung
Referenz	19.07.2001 23:00	21.07.2001 11:00	35 h	Datenübertragungsfehler
Referenz	21.09.2001 14:00	21.09.2001 14:20	10 min	Wartung Ferndiagnose
Referenz	06.10.2001 14:30	06.10.2001 14:50	10 min	Wartung Ferndiagnose
Referenz	12.10.2001 10:30	12.10.2001 14:00	1.5 h	Wartung vor Ort

Tab 12. Messlücken auf der Referenzstation.

Der erste Unterbruch am 07. Mai 2001 entstand infolge von Stromversorgungsproblemen. Der zweite und dritte Unterbruch entstanden durch Wartungsarbeiten.

Der vierte Unterbruch entstand durch Datenübertragungsprobleme. Die letzten drei Unterbrüche entstanden durch Wartungsarbeiten direkt an der Station oder über GSM.

Die Ergänzungsstationen weisen keine Datenlücken auf, so dass wir hier über einen 100%-igen Datensatz verfügen.

Während des Winters sind die ungeheizten Anemometer NRG #40 Max sowie die geheizten Anemometer NRG Ice Free II teilweise ausgefallen. Um vereiste Abschnitte zu erkennen, wurden die zwei Anemometertypen unterschiedlich behandelt:

- **Geheizte Sensoren:** Die Ausfälle der geheizten Sensoren wurden manuell gesucht. In der Auswertung wurden nur die Daten ganzer, lückenloser Tage akzeptiert, die restlichen Tage wurden als Datenlücken verworfen.
- **Ungeheizte Sensoren:** Die Ausfälle der ungeheizten Sensoren wurden mit Hilfe einer Routine gefunden. Für jeden Tag der gesamten Messperiode wurden diejenigen 10-Minuten-Windgeschwindigkeitsmittelwerte beider Sensortypen miteinander verglichen, bei welchen der geheizte Sensor Windgeschwindigkeiten von mindestens 3 m/s zeigte. Wichen pro Tag mindestens 12 Werte der ungeheizten Sensoren mehr als 20 % von denen der geheizten Sensoren gleicher Höhe ab, so wurde für den entsprechenden ungeheizten Sensor der ganze Tag als Datenlücke verworfen. Für die ungeheizte Messung auf 10 m nach dem 10. Juli 2001 diente die geheizte Messung auf 17 m Höhe als Vergleich. Vereiste Tage der Ice Free II Anemometer wurden auch beim #40 Max Anemometer gleicher Höhe als vereist betrachtet.

Die Ausfälle der einzelnen Sensoren sind in Tabelle 13 aufgelistet und in Abbildung 2 grafisch dargestellt. Der Sensor für Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit war defekt und wurde am 10. Mai 2001 ausgewechselt. Wegen eines Defekts am Schneehöhensensor wurden bis zum 10. Juli 2001 keine korrekten Daten aufgezeichnet.

Monat	NRG		NRG		NRG		NRG	
	#40 Max		#40 Max		#40 Max		Ice Free II	
	10 m	17 m	30 m		10 m	17 m	30 m	
Dezember 00	31	24	-		0	0	-	
Januar 01	31	30	-		7	7	-	
Februar 01	27	23	-		4	4	-	
März 01	28	28	-		0	0	-	
April 01	23	23	-		0	0	-	
Mai 01	8	4	-		0	0	-	
Juni 01	4	6	-		0	0	-	
Juli 01	0	0	0		0	0	0	
August 01	0	0	0		-	0	0	
September 01	11	12	12		-	0	0	
Oktober 01	4	4	1		-	0	0	
November 01	22	24	24		-	0	3	
Dezember 01	22	24	19		-	8	8	
Januar 02	10	11	9		-	1	1	
Februar 02	14	15	15		-	1	1	
März 02	18	19	19		-	0	0	
April 02	18	20	20		-	0	0	
Mai 02	12	12	31		-	0	0	
Juni 02	15	3	30		-	0	0	
Juli 02	13	2	31		-	0	6	
August 02	0	0	9		-	0	0	
Total	311/586	284/586	220/394		11/222	21/586	13/400	
Total 2001	180/365	178/365	56/173		11/191	19/365	11/179	

Tab 13. Ausfälle der einzelnen Sensoren in Tagen.

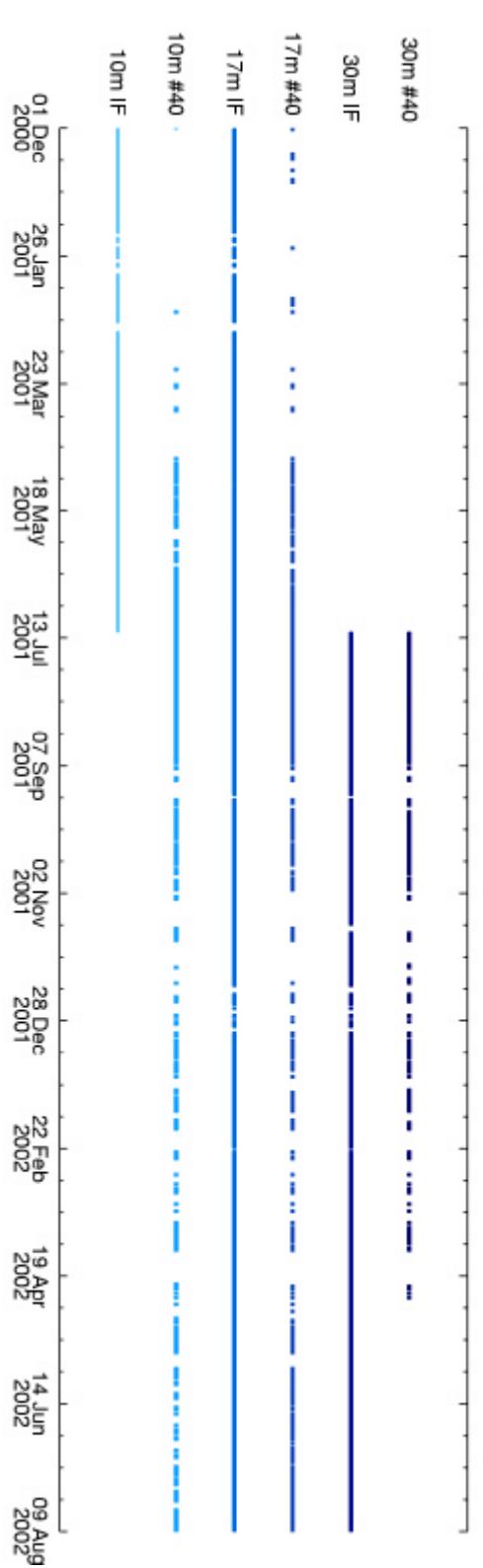


Abb 2. Grafische Darstellung der Datenverfügbarkeit über die Messperiode pro Sensor: IF = NRG
Ice Free II, #40 = NRG #40 Max.

5. DATENVERVOLLSTÄNDIGUNG

Datenlücken in den Datenreihen der drei Messniveaus wurden durch ein Umrechnen von anderen Höhen geschlossen. Es entstanden nur dort Datenlücken, wo alle Sensoren gleichzeitig eingefroren waren (19 Tage im Winter 2001/2002). 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 % von den Messungen der ungeheizten #40 Max ab. In Kapitel 8.1 wird diese Differenz erklärt. In diesem Bericht wurde von einem die Standardkalibrationsfunktion erfüllenden NRG #40 Max Anemometer als Referenzsystem ausgegangen. Folgende Erklärungsmöglichkeiten können hierfür herangezogen werden:

- **Schräganströmungen:** Laut Angaben des Herstellers ist der geheizte Sensor typ anfälliger auf die Vertikalkomponente des Windes als der ungeheizte Typ. Aufwinde - der Standort des 30-m-Masts befindet sich auf einer kleinen Krete - lassen die geheizten Sensoren leicht höhere Windgeschwindigkeiten aufzeichnen. Eine Untersuchung hierzu in Finnland hat gezeigt, dass der geheizte Anemometertyp 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.

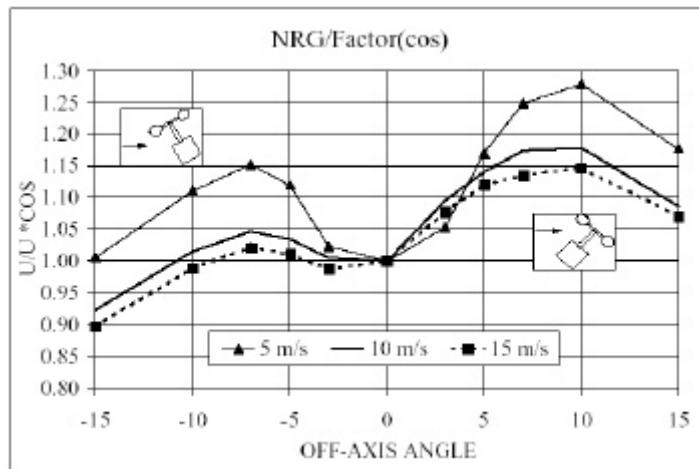


Abb 3. Gemessener Effekt auf die Windgeschwindigkeit für verschiedene Schräganströmungen (von 15 bis 15 Grad) für den Anemometertyp NRG Ice Free II bei drei verschiedenen Windgeschwindigkeiten (5, 10 und 15 m/s). U ist die horizontale Windgeschwindigkeitskomponente.

- **Turbulenz:** Der geheizte Sensor ist 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 reagiert also träger auf plötzliche Windgeschwindigkeitsänderungen. In turbulenten Windverhältnissen tritt beim geheizten Sensor 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 Gotthard ist bei tiefen Windgeschwindigkeiten (bis etwa 3 m/s) relativ gross (Tab. 20). Dies bewirkt höhere Windgeschwindigkeiten beim geheizten Sensor vor allem bis etwa 3 m/s (Abb. 5 und 6), 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 Böenspitzen des geheizten Sensors benutzt. Die Abbildungen 4, 5 und 6 zeigen die Korrelation auf 10 m, 17 m und 30 m und die entsprechende Regressionsgeraden für (relevante) Werte über 3 m/s in eisfreien Perioden.

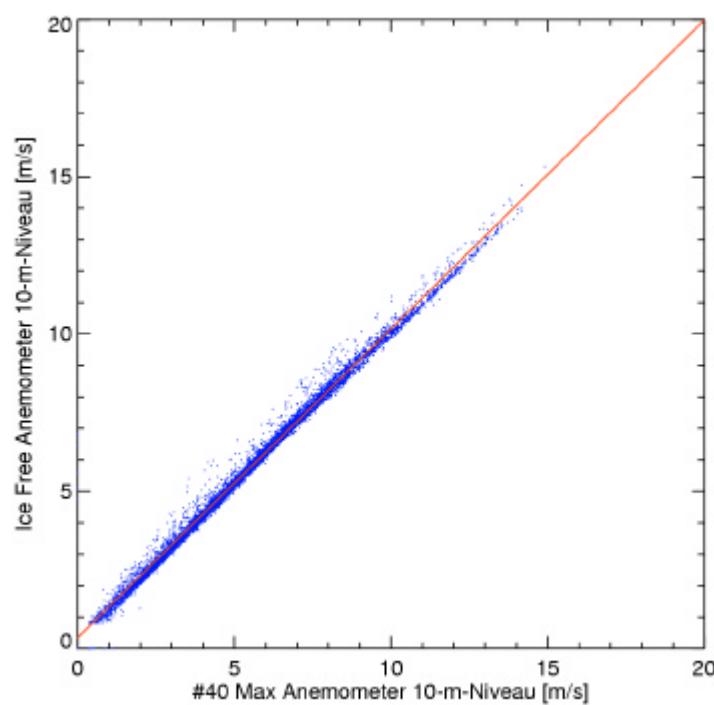


Abb 4. Korrelation der Messungen des Ice Free Anemometers mit den Messungen des #40 Max Anemometers auf 10 m. Die Gleichung der Regressionsgerade gilt für Werte ab 3 m/s: $y = 0.982 x + 0.346$

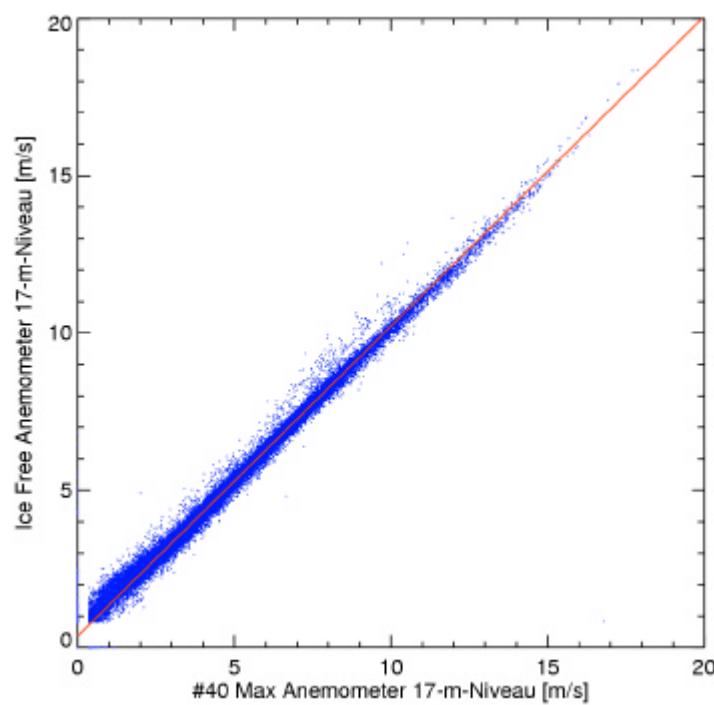


Abb 5. Korrelation der Messungen des Ice Free Anemometers mit den Messungen des #40 Max Anemometers auf 17 m. Die Gleichung der Regressionsgerade gilt für Werte ab 3 m/s: $y = 0.985 x + 0.366$.

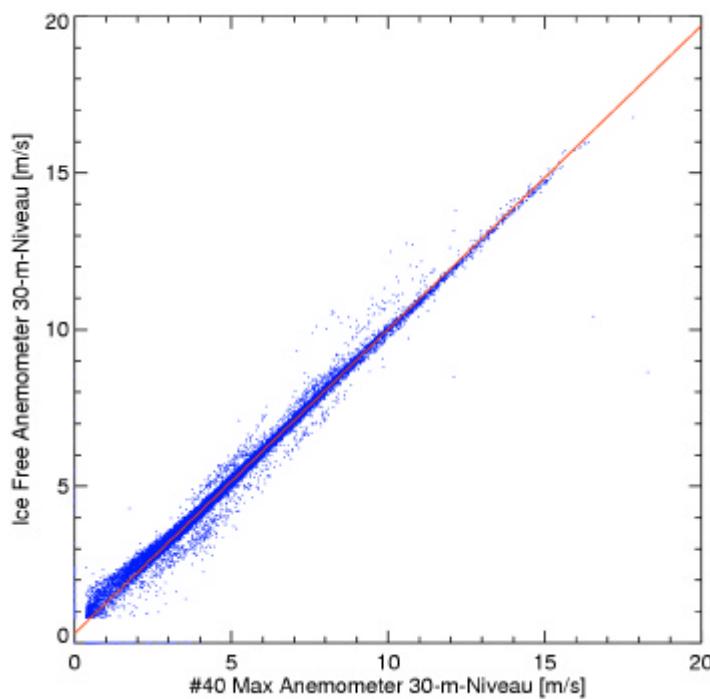


Abb 6. Korrelation der Messungen des Ice Free Anemometers mit den Messungen des #40 Max Anemometers auf 30 m. Die Gleichung der Regressionsgerade gilt für Werte ab 3 m/s: $y = 0.970 x + 0.308$.

Die durch die Korrelation des geheizten mit dem ungeheizten Sensor pro Messniveau gefundene Regression wurde zur Korrektur der 10-Minuten-Windgeschwindigkeitsmittelwerte, Standardabweichungen und Böenspitzen des geheizten Sensors benutzt. Abbildung 6 zeigt die Korrelation auf 30 m und die entsprechende Regressionsgerade, die für (relevante) Werte über 3 m/s in eisfreien Perioden gefunden wurde.

5.2 DATENLÜCKEN SCHLIESSEN

Datenlücken konnten durch das Umrechnen von anderen Höhen geschlossen werden. Ausgehend vom praktisch durchgehend messenden, #40 Max-korrigierten Ice Free II Anemometer auf 17 m wurde für die ganze Messperiode auf 10 m und 30 m umgerechnet. 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 10 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 17 m ermittelt und für die Hochrechnung auf 10 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 entsprechenden zwei Messungen sind gleichzeitig eisfrei (siehe Kapitel 4.2).
- Die Mittelwerte der Windgeschwindigkeiten der entsprechenden zwei Messungen betragen beide mindestens 3 m/s. (Grund: Bei tiefen Windgeschwindigkeiten ergeben sich unplaubliche 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 . Ein a für einen Sektor ausserhalb der Hauptwindrichtung war leicht negativ und wurde in diesem Sektor auf Null gesetzt. Eine Abnahme der Windgeschwindigkeit mit zunehmender Höhe ist unplaublich.

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. Vereiste Tage der Ice Free II Anemometer wurden auch beim #40 Max Anemometer gleicher Höhe als vereist betrachtet.

Für das 17-m-Messniveau verwendete man die praktisch vollständige Datenreihe des #40 Max-korrigierten Ice Free II Anemometers auf 17 m. Für die anderen Messniveaus musste im Zusammensetzungsverfahren nach den Messperioden mit dem 17-Meter-Mast und dem 30-Meter-Mast unterschieden werden:

Ganze Messperiode (01.12.2000 - 09.08.2002)

17-m-Messniveau:

1. Priorität: #40 Max auf 17 m
2. Priorität: #40 Max-korrigierter Ice Free II auf 17 m

Messperiode mit 17-Meter-Mast (01.12.2000 - 07.10.2001)

10-m-Messniveau:

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

30-m-Messniveau:

1. Priorität: #40 Max auf 30 m
2. Priorität: Hochrechnung auf 30 m ausgehend vom #40 Max-korrigierten Ice Free II auf 17 m

Bemerkung: Der Ice Free II auf 17 m weist in dieser Messperiode die gleichen Vereisungstage wie der Ice Free II auf 10 m auf. Es erübrigen sich somit weitere Prioritäten.

Messperiode mit 30-Meter-Mast (07.10.2001 - 09.08.2002)**10-m-Messniveau:**

1. Priorität: #40 Max auf 10 m
2. Priorität: Hochrechnung auf 10 m ausgehend vom #40 Max-korrigierten Ice Free II auf 17 m

30-m-Messniveau:

1. Priorität: #40 Max auf 30 m
2. Priorität: #40 Max-korrigierten Ice Free II auf 30 m
3. Priorität: Hochrechnung auf 30 m ausgehend vom #40 Max-korrigierten Ice Free II auf 17 m.

Bemerkung: Es gibt wenige Tage, in denen der Ice Free II auf 30 m im Gegensatz zum Ice Free II auf 17 m eingefroren ist. Daher ist die 3. Priorität sinnvoll.

6. DATENSÄTZE MESSSTATION GOTTHARD

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 Gotthard liegt als ASCII-Textdatei auf der CD-ROM bei ('Gotthard.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 17 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 17 m, NRG-Anemometer Ice Free II [m/s]
H	Mittlere Windgeschw. (10-Min.-Mittel) in 30 m, NRG-Anemometer Ice Free II [m/s]
I	Standardabweichung Windgeschw. in 10 m, NRG-Anemometer #40 Max [m/s]
J	Standardabweichung Windgeschw. in 17 m, NRG-Anemometer #40 Max [m/s]
K	Standardabweichung Windgeschw. in 30 m, NRG-Anemometer #40 Max [m/s]
L	Standardabweichung Windgeschw. in 10 m, NRG-Anemometer Ice Free II [m/s]
M	Standardabweichung Windgeschw. in 17 m, NRG-Anemometer Ice Free II [m/s]
N	Standardabweichung Windgeschw. in 30 m, NRG-Anemometer Ice Free II [m/s]
O	Böenspitze (2-Sek.-Wert des 10-Min.-Intervalls) in 10 m, NRG-#40 Max [m/s]
P	Böenspitze (2-Sek.-Wert des 10-Min.-Intervalls) in 17 m, NRG-#40 Max [m/s]
Q	Böenspitze (2-Sek.-Wert des 10-Min.-Intervalls) in 30 m, NRG-#40 Max [m/s]
R	Böenspitze (2-Sek.-Wert des 10-Min.-Intervalls) in 10 m, NRG-Ice Free II [m/s]
S	Böenspitze (2-Sek.-Wert des 10-Min.-Intervalls) in 17 m, NRG-Ice Free II [m/s]
T	Böenspitze (2-Sek.-Wert des 10-Min.-Intervalls) in 30 m, NRG-Ice Free II [m/s]
U	Windrichtung in 30 m, NRG-Windfahne Ice Free II [°]
V	Standardabweichung der Windrichtung in 30 m, NRG-Windfahne-Ice Free II [°]
W	Temperatur [°C]
X	Relative Luftfeuchtigkeit [%]

Tab 14. Datenformat der bereinigten Datei der Station Gotthard.

6.2 VOLLSTÄNDIGER DATENSATZ

Um zuverlässige Aussagen über die Windgeschwindigkeiten sowie über das langjährige Windpotential machen zu können, ist es wichtig, von einer konsistenten und praktisch lückenlosen Datenreihe ausgehen zu können. Wir extrapolierten deshalb fehlende Daten von den anderen Messniveaus, wie in Kapitel 5 beschrieben. Die Datenlücken, welche durch die Vereisung aller Sensoren während insgesamt 19 Tagen im Jahr 2001 entstanden sind, konnten aber 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. 15). Zusätzlich zu den vollständigen Messreihen in 10, 17 und 30 m Höhe beinhaltet die Zusammenstellung 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 17 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 17 m [m/s]
K	Standardabweichung der Windgeschwindigkeit (10-Min.-Mittel) in 30 m [m/s]

Tab 15. Datenformat des vollständigen Datensatzes der Station Gotthard.

6.3 LANGJÄHRIGER DATENSATZ

In Abschnitt 7.6 schätzen wir das langjährig zu erwartende Windpotential an der Messstation ab. Das Resultat ist in Form einer Tabelle mit monatlichen Mittelwerten der Windgeschwindigkeiten dargestellt, die im langjährigen Mittel zu erwarten sind. Da sich eine solche Tabelle für Modellierungen schlecht eignet, erstellten wir für die Station Gotthard einen langjährigen Datensatz, bestehend aus 10-Minuten-Werten der Windgeschwindigkeit auf 10, 17, 30, 50 und 60 m sowie der Windrichtung. Als Basis benutzten wir den vollständigen Datensatz vom 01. Januar 2001 bis zum 31. Dezember 2001. Die Daten der Windgeschwindigkeit wurden monatlich mit den Faktoren aus der Tabelle 30 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 Gotthard interpoliert. Das genaue Verfahren ist in Kapitel 7.3 beschrieben. Die auf diese Weise 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 ('Gotthard_lj.dat'). Die Daten sind in Spalten angeordnet, die durch Kommata getrennt sind (Tab. 16).

Spalte	Bedeutung/Parameter
1	Datum [mmddyy] 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 17 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 16. 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. Januar 2001 bis zum 31. Dezember 2001 berücksichtigt, während für Verläufe alle verfügbaren Daten dargestellt werden.

Die zeitlichen Verläufe der Messungen werden als gleitende Tagesmittelwerte dargestellt (Abb. 8 - 11): Die Mittelungsperiode umfasst 24 h; 12 h vor und 12 h nach jedem 10-Minuten-Schritt.

7.1.1 Messresultate Messstation Gotthard

Monat	Mittlere	Mittlere	Mittlere	Max. 10-	Max. 10-	Max. 10-
	WG	WG	WG	Min.-Mittel	Min.-Mittel	Min.-Mittel
	in 10 m	in 17 m	in 30 m	in 10 m	in 17 m	in 30 m
Dezember 2000	5.3	5.3	5.3	14.8	14.7	15.0
Januar 2001	6.7	6.7	6.8	31.7	31.6	32.3
Februar 2001	6.9	6.8	6.9	20.0	19.9	20.4
März 2001	5.5	5.5	5.6	14.9	14.8	15.1
April 2001	7.2	7.2	7.3	16.5	16.4	16.8
Mai 2001	4.7	4.8	4.8	14.9	15.3	15.5
Juni 2001	5.8	5.8	5.8	16.1	16.0	16.3
Juli 2001	5.5	5.7	5.8	15.6	16.8	16.3
August 2001	5.0	5.1	5.2	12.6	13.3	13.6
September 2001	6.4	6.5	6.6	15.0	15.8	16.3
Oktober 2001	4.6	4.7	4.9	14.6	15.4	16.4
November 2001	6.3	6.5	6.5	16.9	17.5	18.3
Dezember 2001	5.7	5.8	5.9	16.9	17.3	17.4
Januar 2002	5.1	5.1	5.2	14.0	14.8	14.9
Februar 2002	5.7	5.7	5.8	19.9	20.7	20.8
März 2002	6.0	6.0	6.1	16.6	17.1	17.3
April 2002	5.8	5.9	5.9	13.5	13.9	14.1
Mai 2002	5.1	5.2	5.3	14.2	14.6	14.9
Juni 2002	4.4	4.5	4.4	17.1	17.9	19.0
Juli 2002	5.3	5.4	5.3	12.4	13.1	13.3
Jahresmittelwert (Jan – Dez 01)	5.8	5.9	6.0			

Tab 17. Monatliche Mittelwerte [m/s] und maximale 10-Minuten-Mittelwerte der Windgeschwindigkeit (WG) am Standort Gotthard. Die rot markierten Mittelwerte stammen von unvollständigen, monatlichen Datenreihen (Vereisungstage).

Monat	Böenspitze auf 10 m	Böenspitze auf 17 m	Böenspitze auf 30 m
	[m/s]	[m/s]	[m/s]
Dezember 2000	26.1	21.3	21.8
Januar 2001	38.2	35.9	36.6
Februar 2001	29.7	29.3	29.9
März 2001	22.2	21.9	22.3
April 2001	20.6	19.4	19.8
Mai 2001	22.5	21.8	22.7
Juni 2001	21.0	20.2	20.6
Juli 2001	24.5	42.0	24.3
August 2001	15.3	16.0	16.0
September 2001	20.2	20.6	20.6
Oktober 2001	20.2	22.5	24.5
November 2001	24.1	24.9	25.3
Dezember 2001	22.9	24.1	25.6
Januar 2002	18.7	19.5	20.6
Februar 2002	32.5	34.8	35.2
März 2002	29.3	30.1	30.4
April 2002	17.0	17.5	17.0
Mai 2002	17.8	23.7	18.1
Juni 2002	28.3	28.7	32.0
Juli 2002	16.0	16.8	16.7

Tab 18. Monatliche 2-Sekunden-Böenspitzen am Standort Gotthard. Die rot markierten Mittelwerte stammen von unvollständigen, monatlichen Datenreihen (Vereisungstage).

Parameter	Jahres- mittelwert	Minimum	Maximum	Standard- abweichung
Temperatur [°C]	3.2	-19.8	19.0	6.8
Relative Luftfeuchtigkeit [%]	84.3	17.3	99.9	19.2
Schneehöhe [m]			2.5	

Tab 19. Zusammenfassung Standort Gotthard: Mittelwerte, Minima, Maxima und Standardabweichungen der Ergänzungsmessungen für das Jahr 2001. Das Maximum der Schneehöhenmessung gilt für den Winter 2001/2002, da der Sensor im Winter 2000/2001 defekt war.

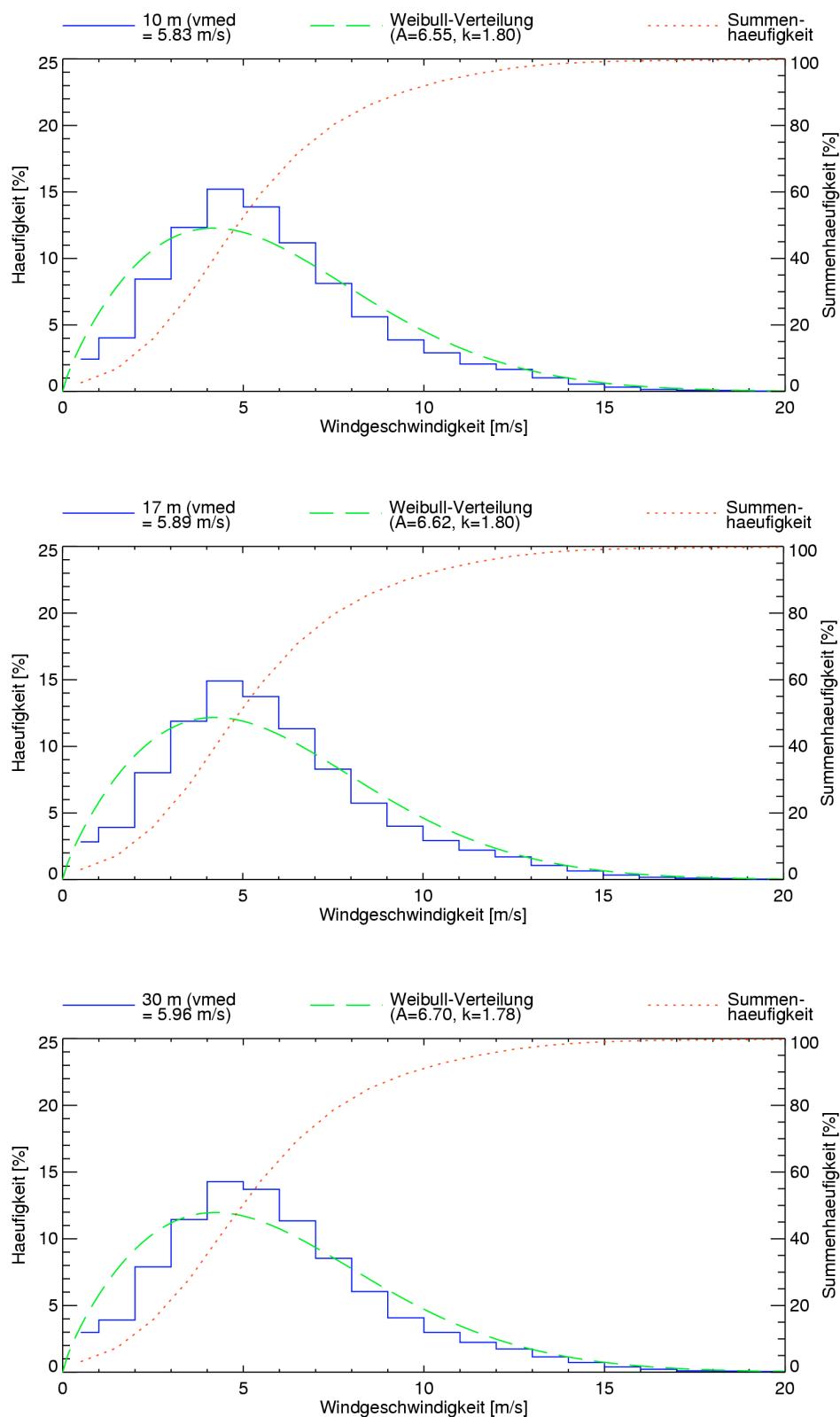


Abb 7. Häufigkeitsverteilung der rekonstruierten Windgeschwindigkeit am Standort Gotthard in 10, 17 und 30 m Höhe. vmed bezeichnet die mittlere Windgeschwindigkeit.

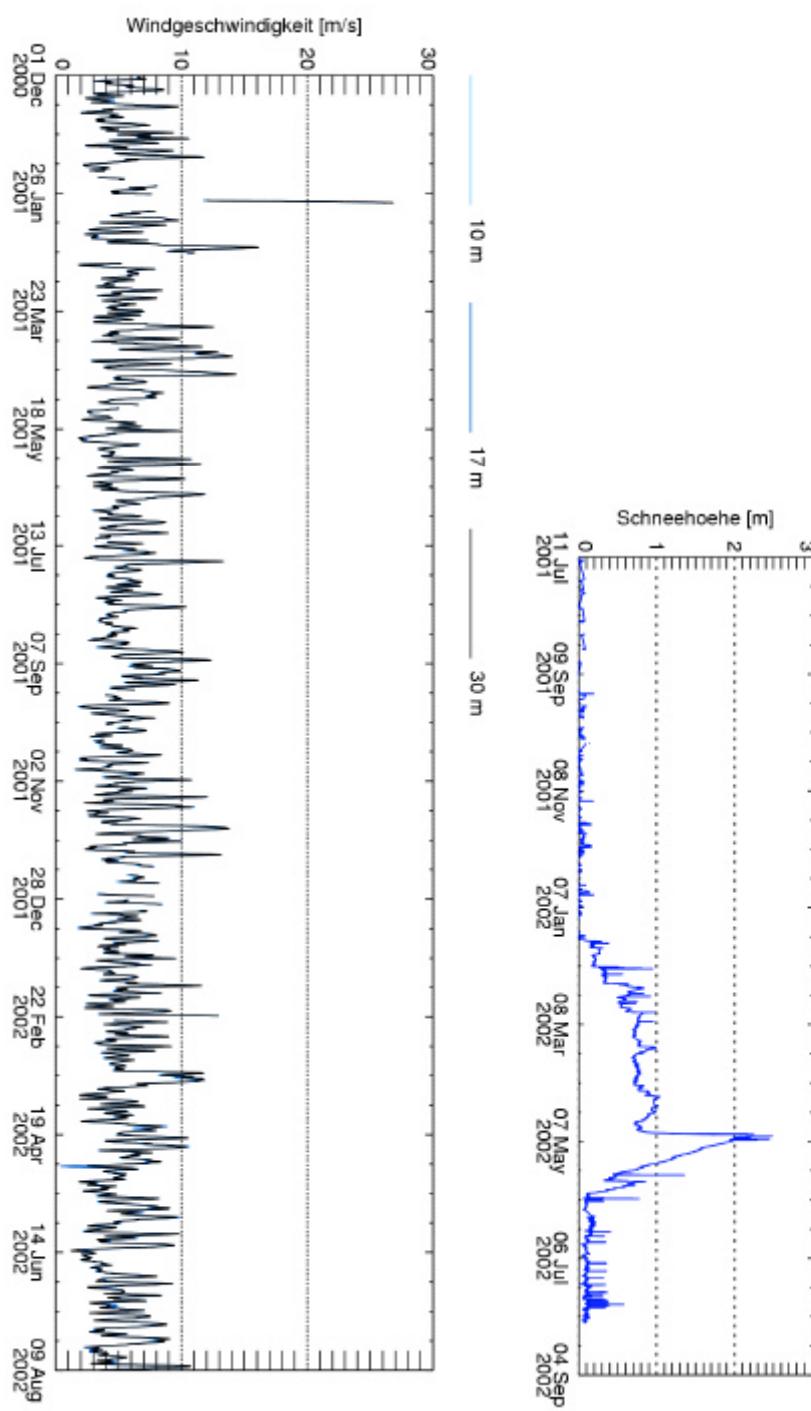


Abb 8. Verlauf der rekonstruierten Windgeschwindigkeit am Standort Gotthard (gleitender Tagesmittelwert) in 10, 17 und 30 m (links).

Abb 9. Gleitende Tagesmittelwerte der Schneehöhe (rechts).

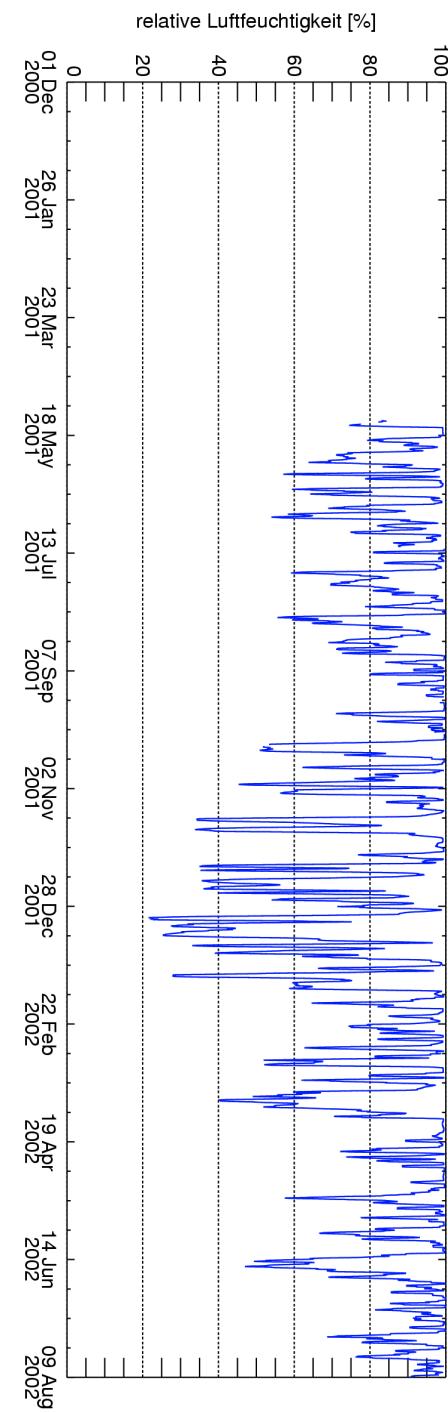
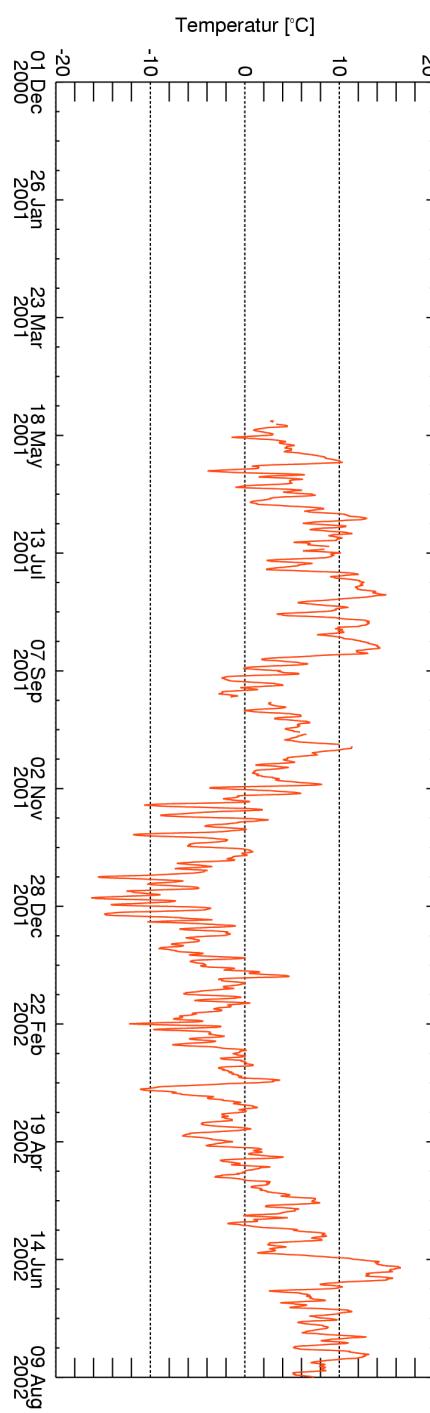


Abb 10. Gleitende Tagesmittelwerte der Temperatur (links).

Abb 11. Gleitende Tagesmittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit (rechts).

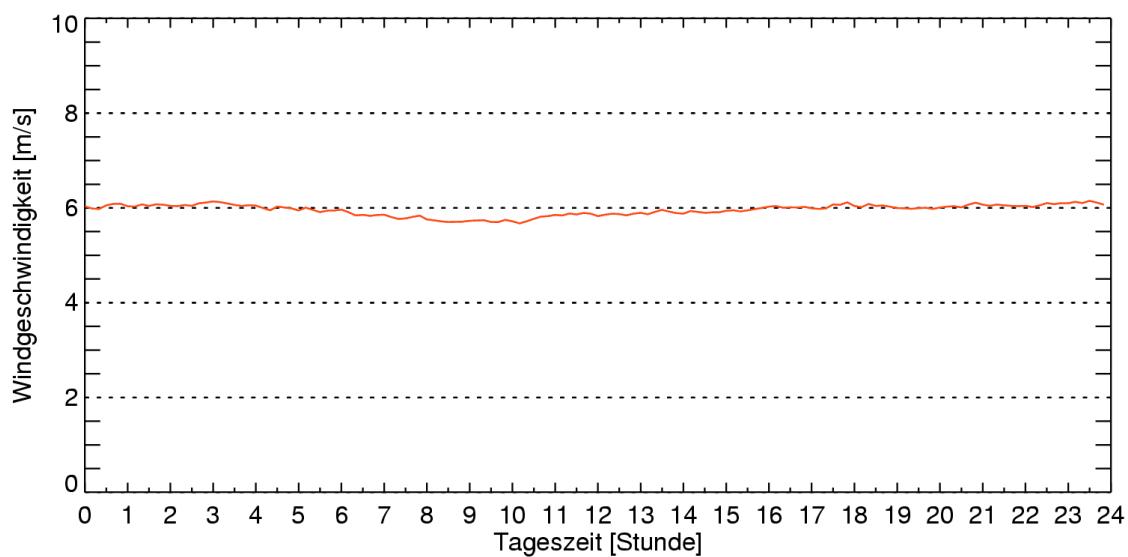


Abb 12. Tagesgang der Windgeschwindigkeit am Standort Gotthard in 30 m Höhe.

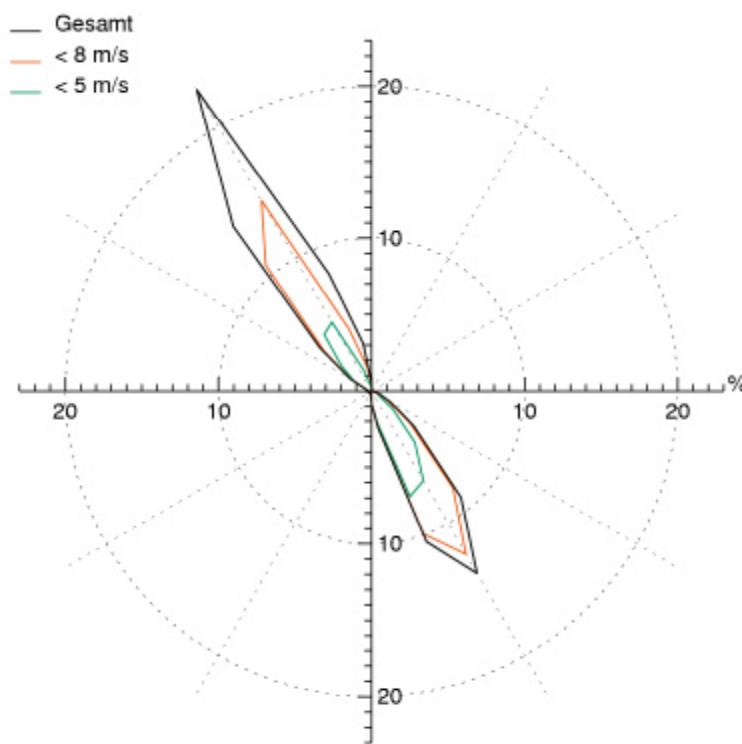


Abb 13. Windrose am Standort Gotthard in 30 m Höhe.

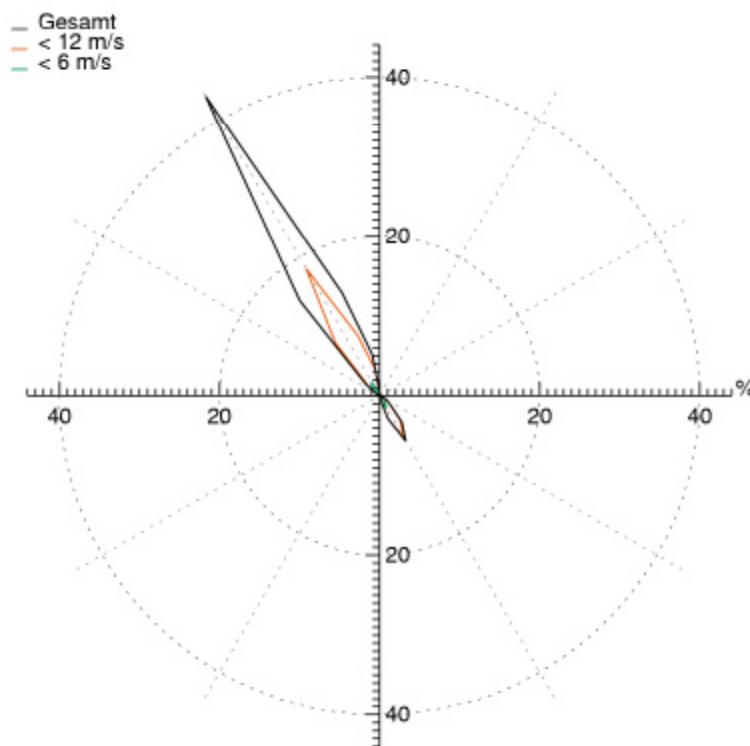


Abb 14. Energierose (Leistungsdichte) für das Jahr 2001 am Standort Gotthard in 30 m Höhe. Unterteilung in eine mögliche Anlauf- und Nennwindgeschwindigkeit von Windkraftanlagen von 6 bzw. 12 m/s.

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 Gotthard in Funktion der Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Höhe.

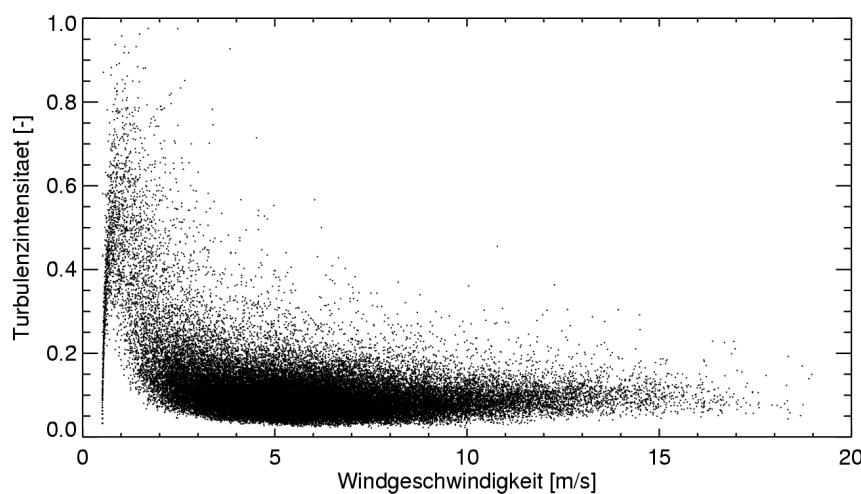


Abb 15. Turbulenzintensität am Standort Gotthard in 30 m Höhe in Funktion der Windgeschwindigkeit. Die Darstellung gilt für die Messperiode ab dem 10. Juli 2001, weil vorher keine Standardabweichungen auf 30 m gemessen wurden.

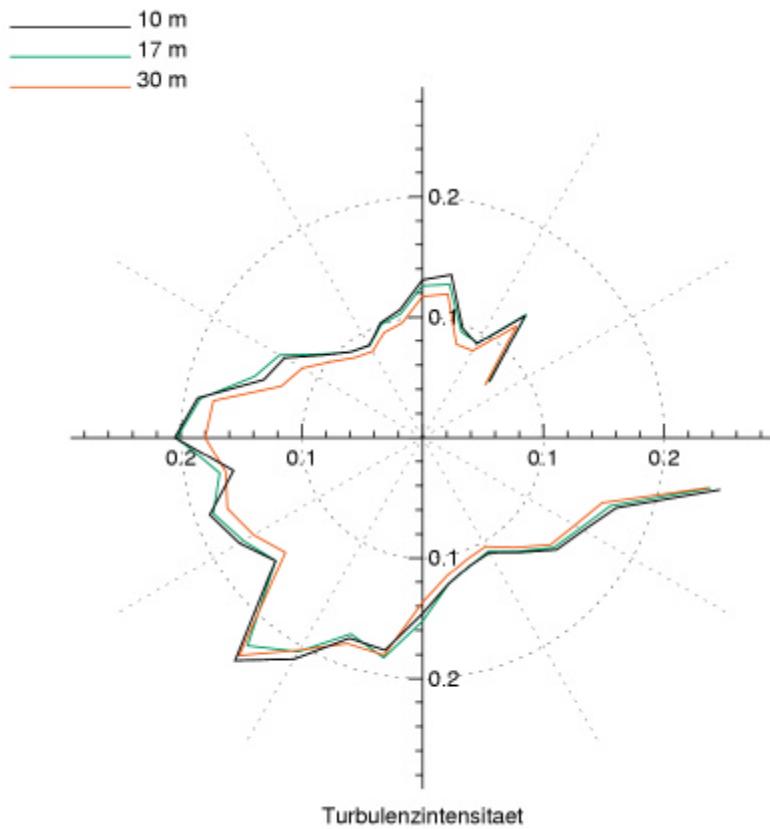


Abb 16. Turbulenzrose am Standort Gotthard in den Höhen 10, 17 und 30 m.

Es wurden Turbulenzwerte für Perioden mit Windgeschwindigkeiten ab 3 m/s in 30 m Höhe berücksichtigt. Die unvollständige Ecke zwischen 10° und 30° röhrt von der Tatsache her, dass hier keine Windgeschwindigkeiten grösser als 3 m/s aufgezeichnet wurden.

Klasse [m/s]	345–	15–	45–	75–	105–	135–	165–	195–	225–	255–	285–	315–	Mittelwert
	15°	45°	75°	105°	135°	165°	195°	225°	255°	285°	315°	345°	
0–1	0.38	0.25	-	0.38	0.35	0.39	0.41	0.37	0.38	0.32	0.36	0.38	0.38
1–2	0.30	0.19	0.23	0.36	0.33	0.33	0.37	0.36	0.31	0.39	0.32	0.33	0.33
2–3	0.17	0.14	0.23	0.13	0.15	0.16	0.17	0.17	0.13	0.18	0.16	0.17	0.16
3–4	0.13	0.18	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.11	0.10	0.11	0.11	0.12	0.12
4–5	0.11	0.09	0.09	0.07	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.10	0.10	0.10
5–6	0.10	0.09	0.11	0.08	0.09	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
6–7	0.10	0.08	0.08	0.09	0.09	0.10	0.10	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09
7–8	0.09	0.11	0.11	0.08	0.10	0.09	0.09	0.08	0.07	0.08	0.09	0.09	0.09
8–9	0.09	0.07	0.06	-	0.10	0.09	0.09	0.09	0.10	0.09	0.10	0.09	0.09
9–10	0.09	0.07	0.05	0.08	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09
10–11	0.10	-	-	0.10	0.09	0.09	0.09	0.06	-	0.08	0.09	0.10	0.10
11–12	0.11	-	-	-	0.08	0.10	0.11	0.06	0.10	0.10	0.09	0.10	0.10
12–13	0.10	-	-	0.10	0.08	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.10
13–14	0.10	0.08	-	0.06	0.09	0.10	0.09	0.09	0.09	0.10	0.11	0.11	0.11
14–15	0.11	-	-	-	0.08	0.09	0.10	0.08	0.09	0.08	0.10	0.11	0.10
15–16	0.10	-	-	-	0.09	0.09	0.12	-	0.08	-	0.10	0.11	0.10
16–17	-	-	-	-	0.08	0.09	0.06	-	-	-	0.09	0.13	0.10
17–18	-	-	-	-	0.08	0.08	-	-	-	-	-	0.12	0.10
18–19	-	-	-	-	0.07	0.08	-	-	-	-	-	0.16	0.10
19–20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
20–	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.24	0.24
Mittelwert	0.12	0.12	0.12	0.13	0.12								

Tab 20. Analyse der Turbulenzintensität am Standort Gotthard in 30 m Höhe: Die Werte sind in Funktion der Windrichtung und Windgeschwindigkeit angegeben. Die Tabelle gilt für die Messperiode vom 10. Juli 2001 - 10. Juli 2002, weil vorher keine Standardabweichungen auf 30 m gemessen wurden.

7.3 DICHTEANALYSE

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

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

wobei

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

T = Temperatur [K]

p = Druck [Pa]

Auf Stationshöhe (2'110 m. ü.M) ist der Einfluss der relativen Luftfeuchtigkeit auf die Luftpumpe für eine Abschätzung vernachlässigbar gering (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 Gotthard berechnet. Folgendes Vorgehen wurde dabei angewandt:

- Luftdruck: Die MeteoStation der MeteoSchweiz auf dem Gütsch liegt ca. 150 m höher als die Station Gotthard. Es wurde ein Gradient von 10 hPa/100 m für die Umrechnung angenommen.
- Lufttemperatur: Durch lineare Interpolation zwischen den MeteoStationen Guttannen und Gütsch konnten die langjährigen Monatsmittelwerte für die Station Gotthard abgeschätzt werden.

Monat	Mittlere, langjährige
	Luftdichte [kg/m ³]
Januar	1.022
Februar	1.021
März	1.018
April	1.009
Mai	0.999
Juni	0.991
Juli	0.983
August	0.983
September	0.990
Oktober	0.998
November	1.012
Dezember	1.019
Jahresmittelwert	1.004

Tab 21. Abgeschätzte, langjährige (1961-1990) Monatswerte der Luftdichte am Standort Gott-hard.

7.4 BLITZSTATISTIK

Die Tabelle 22 sowie die Abbildungen 17 und 18 zeigen die langjährige Statistik der Nah- und Fernblitze der Meteostation Gütsch. Als Nahblitz gelten Blitze, die weniger als 3 km von der Meteostation entfernt sind. Fernblitze sind Blitze mit mehr als 3 km Entfernung. Die Blitzaktivität an der Station Gütsch kann mit der Situation auf der Messstation Gotthard verglichen werden, da beide Stationen ähnlich exponiert sind und sich auf etwa gleicher Höhe befinden. Die Blitze werden mittels elektrischer Entladungen gemessen, die jedoch auch bei Schneefall auftreten können. Deshalb werden bei Bergstationen insbesondere bei Schneefall z.T. zu viele Fernblitze gezählt. Im Winterhalbjahr treten daher grosse Summen auf. Als Vergleich wird die Meteostation Bern-Liebefeld herangezogen (Tab. 23).

Monat	Langj. Mitt.			Langj. Mitt.		
	MM	Langj. min.	Langj. max.	MM	Langj. min.	Langj. max.
	Fernblitze	Fernblitze	Fernblitze	Nahblitze	Nahblitze	Nahblitze
Januar	2647	80	15646	0	0	0
Februar	1976	0	5495	0	0	0
März	3259	261	8709	1	0	9
April	6255	125	17915	0	0	2
Mai	6055	1638	23717	8	0	37
Juni	7067	1237	12436	21	0	66
Juli	6211	2912	14217	53	13	113
August	4311	1485	9578	47	4	129
September	7595	484	27288	13	0	63
Oktober	5792	26	30586	1	0	6
November	4499	7	19900	2	0	18
Dezember	1470	2	8972	0	0	1
Jahressumme	57136			147		

Tab 22. Langjähriges (1990 - 2001), maximales und minimales Monatsmittel (MM) aufgezeichnete Fern- und Nahblitze der Meteostation Gütsch. Quelle: MeteoSchweiz.

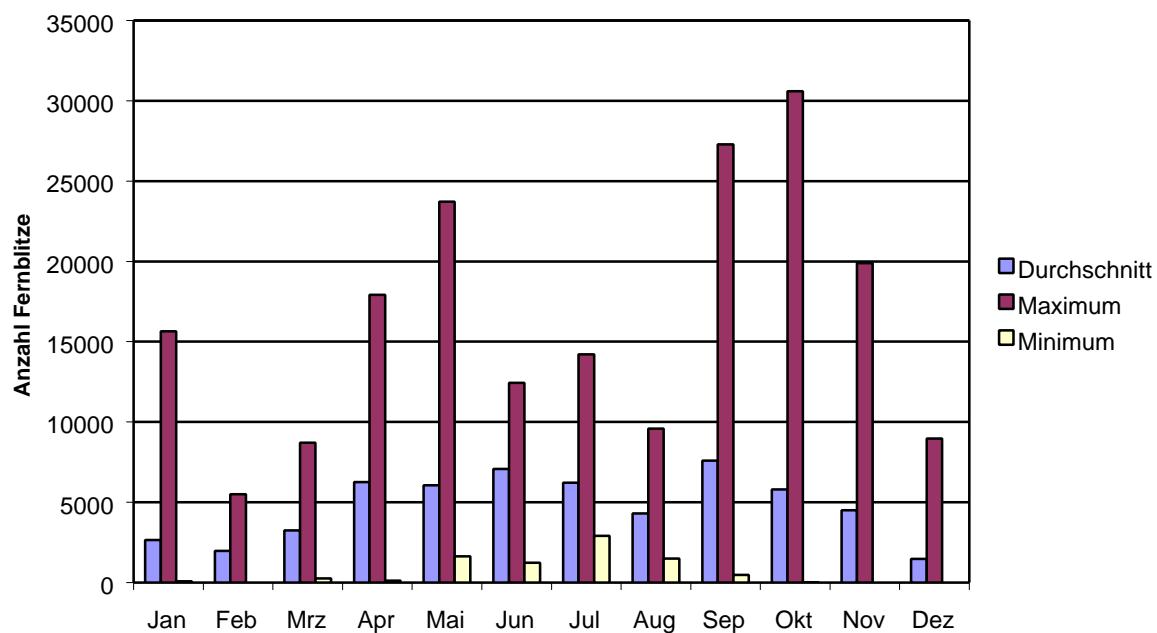


Abb 17. Langjähriges (1990 - 2001), maximales und minimales Monatsmittel aufgezeichneter Fernblitze der Meteostation Güttsch. Quelle: MeteoSchweiz.

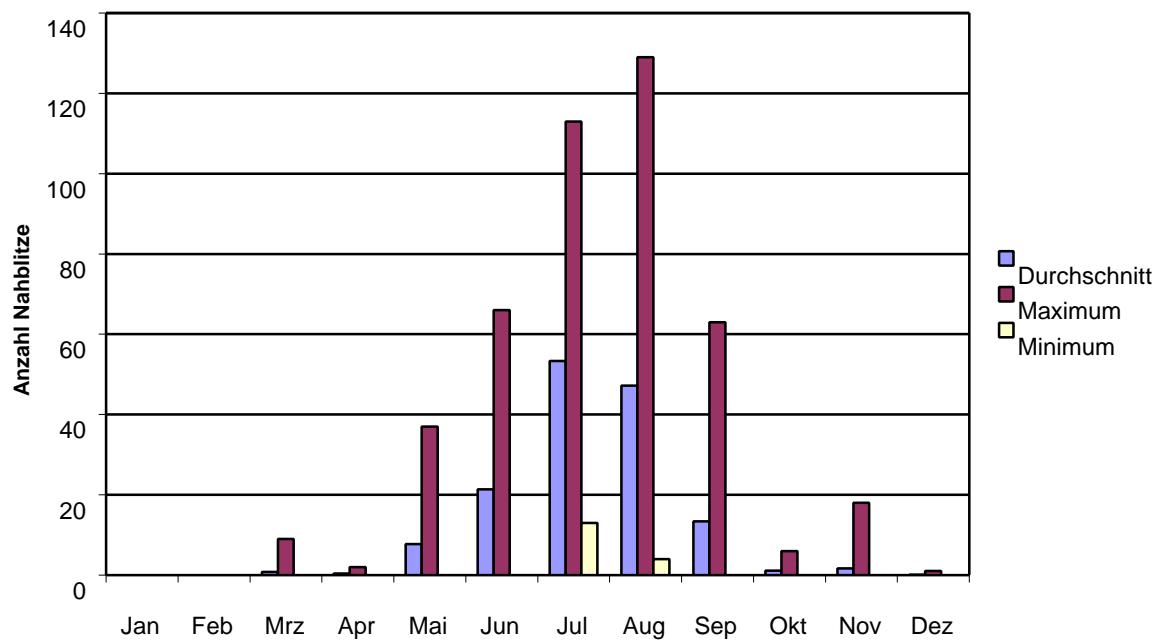


Abb 18. Langjähriges (1990 - 2001), maximales und minimales Monatsmittel aufgezeichneter Nahblitze der Meteostation Güttsch. Quelle: MeteoSchweiz.

Monat	Langj. MM			Langj. MM		
	Langj. min.	Langj. max.	Langj. min.	Langj. max.	Langj. min.	Langj. max.
	Fernblitze	MM	Fernblitze	MM	Fernblitze	MM
Januar	250	0	101	0	0	0
Februar	174	0	36	0	0	0
März	699	0	187	0	0	0
April	204	0	67	0	0	0
Mai	801	0	221	5	0	2
Juni	1956	0	367	17	0	11
Juli	672	0	138	20	0	14
August	832	0	210	15	0	6
September	91	0	22	0	0	0
Oktober	--	0	594	0	0	0
November	46	0	31	1	0	1
Dezember	38	0	38	0	0	0
Jahres-						
summe	5763				58	

Tab 23. Durchschnittliches (Periode 2000 - 2002), maximales und minimales Monatsmittel (MM) aufgezeichneter Fern- und Nahblitze der Meteostation Bern-Liebefeld. Quelle: MeteoSchweiz.

Im Vergleich zur Meteostation in Bern-Liebefeld, ein typischer, schweizerischer Mittelandstandort, weist der alpine Standort Gütsch in der Jahressumme ungefähr doppelt so viele Nahblitze auf.

7.5 ABSCHÄTZUNG DER VEREISUNGSGEFAHR

Um Abschnitte möglicher Vereisung der Turbinen am Standort erkennen zu können, wurden zwei Methoden miteinander verglichen. Die erste Methode wurde bereits in Kapitel 4.2 vorgestellt, wo die ungeheizten Sensoren mit den geheizten verglichen wurden.

Die zweite Methode beruht auf der Theorie, dass Vereisung dann auftritt, wenn die Temperatur unter null ist und sich gleichzeitig in der Nähe des Frostpunktes befindet. Der Frostpunkt ist dabei diejenige Temperatur, bei welcher bei isobarer Abkühlung die Sättigung über Eis erreicht wird. Er kann aus der Temperatur- und Feuchtemessung berechnet werden.

Abbildung 19 zeigt zwei Beispielmonate im Sommer- und Winterhalbjahr, in denen nach Bestimmungsmethode der Vereisung unterschieden aufgezeigt wird, wann Vereisung stattfinden könnte. Lücken der blauen Linie zeigen Abschnitte auf, in denen der ungeheizte Anemometer in 17 m Höhe mehr als 20 % vom geheizten Sensor gleicher Höhe abweicht (1. Methode). Parallel dazu zeigt die grüne Linie, wann die Temperatur weniger als 3 Grad vom Frostpunkt abweicht und gleichzeitig unter null Grad liegt (2. Methode). Die Vereisungsabschnitte stimmen grundsätzlich gut überein. Im November 2001 gibt es jedoch Abschnitte, in denen der ungeheizte Sensor zwar vereist oder zumindest verhockt ist, die Temperaturkurve die Frostpunktkurve aber längst verlassen hat. Dies kann dadurch erklärt werden, dass der ungeheizte Sensor noch nicht aufgetaut ist, denn in diesen Abschnitten blieb die Temperatur stets unter null Grad.

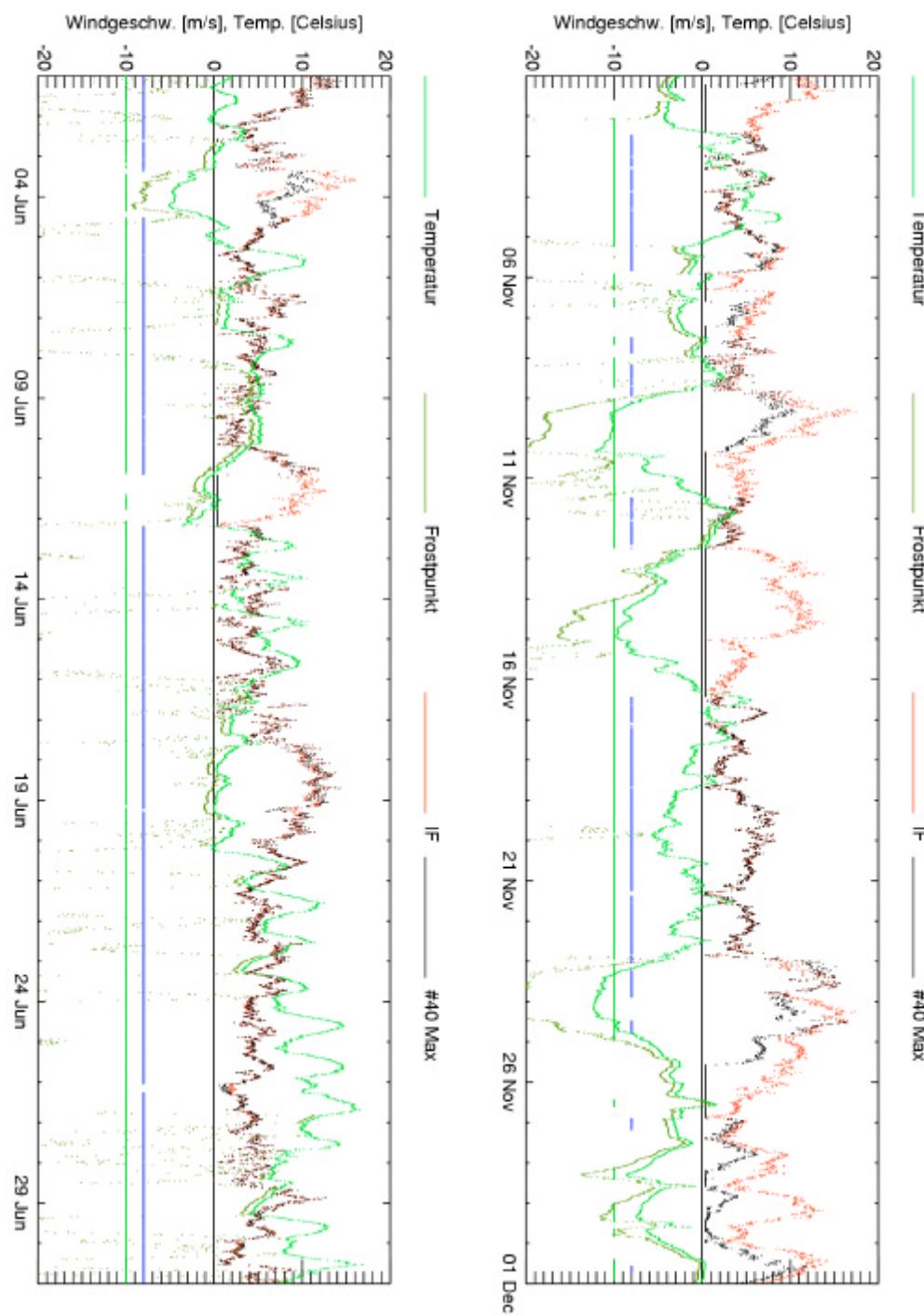


Abb 19. Grafische Darstellung der Vereisungsabschnitte im Juni 2001 und November 2001 auf dem 17-m-Messniveau (IF = geheizter Anemometer auf 17 m, #40 Max = ungeheizter Anemometer auf 17 m). Lücken der blauen Linie bezeichnen Abschnitte der Vereisung, die mit der Methode des Vergleichs mit dem geheizten Sensor gefunden wurden. Lücken der grünen Linie bezeichnen Abschnitte der Vereisung, die mit der Methode des Frostpunkts gefunden wurden.

Für die Bestimmung der Tage mit Vereisungsgefahr (nachfolgend Frosttage genannt) wurde die Methode mit dem Frostpunkt gewählt (2. Methode), weil für eine Windkraftanlage die eigentlichen Vereisungsabschnitte von Bedeutung sind. Als Frosttag gilt ein Tag, an welchem die Differenz aus Taupunkt und Temperatur mindestens einmal in einem 10-Minuten-Mittelwert kleiner als 3 Grad betragen hat und die Temperatur gleichzeitig unter null Grad liegt. Dies ist eine konservative Einschätzung der Vereisungsgefahr.

Als Vergleich zu den ermittelten Frosttagen nach der 2. Methode wurde die Anzahl Frosttage nach der 1. Methode (ungeheizter Anemometer in 17 m Höhe weicht in mindestens 6 10-Minuten-Mittelwerten pro Tag mehr als 20 % vom geheizten Sensor gleicher Höhe ab, siehe Kapitel 4.2), die meteorologischen Frosttage (mindestens ein 10-Minuten-Mittelwert der Temperatur liegt unter null Grad) und die meteorologischen Eistage (Temperatur liegt den ganzen Tag unter null Grad) für die Periode vom Juni 2001 bis Mai 2002 in Tabelle 25 aufgelistet.

Monat	Anzahl	Anzahl	Anzahl	Anzahl
	Frostage 1. Methode	Frostage 2. Methode	Frostage	Eistage
Juni 2001	6	9	10	0
Juli 2001	0	0	0	0
August 2001	0	0	0	0
September 2001	12	15	15	3
Oktober 2001	4	4	4	0
November 2001	24	22	28	13
Dezember 2001	24	10	31	25
Januar 2002	11	11	31	21
Februar 2002	15	23	28	18
März 2002	19	20	31	12
April 2002	20	24	27	11
Mai 2002	12	14	14	1
Jahressumme	147	152	219	104

Tab 24. Anzahl abgeschätzter Frostage im Messjahr 2001/2002. Frostag 1. Methode = Tag, an welchem der ungeheizte Anemometer in 17 m Höhe in mindestens 6 10-Minuten-Mittelwerten pro Tag mehr als 20 % vom geheizten Sensor gleicher Höhe abweicht. Frostag 2. Methode = Tag, an welchem die Differenz aus Taupunkt und Temperatur mindestens einmal in einem 10-Minuten-Mittelwert kleiner als 3 Grad betragen hat und die Temperatur gleichzeitig unter Null Grad Celsius liegt. Meteorologischer Frostag = Tag, in dem mindestens ein 10-Minuten-Mittelwert der Temperatur unter null Grad liegt. Meteorologischer Estag = Tag, in dem die Temperatur den ganzen Tag unter null Grad liegt.

7.6 ABSCHÄTZUNG DES WINDPOTENTIALS AUF NABENHÖHEN

7.6.1 Vorgehen zur Berechnung des Windpotentials auf Nabenhöhen

Zur Abschätzung des Windpotentials für Windkraftanlagen wird die Windgeschwindigkeit auf 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, 17 und 30 m Höhe 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 auf diese Weise 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 würde dabei zu unplausiblen Werten führen. Deshalb wurde die Berechnung der Windgeschwindigkeiten auf Nabenhöhe unter den folgenden Bedingungen angepasst:

- Die gemessene Windgeschwindigkeit auf dem höchsten Messniveau ist 0 m/s. In diesem Fall wurden auch für die Nabenhöhen Windstille angenommen.
- Die Windgeschwindigkeit auf dem untersten und/oder mittleren Messniveau ist 0 m/s. In diesem Fall wurden die Windgeschwindigkeiten auf Nabenhöhe gleich der gemessenen Geschwindigkeit auf dem obersten Messniveau gesetzt.
- Die Windgeschwindigkeit auf dem mittleren Messniveau ist grösser als die zuoberst gemessene. In diesem Fall wurden die Windgeschwindigkeiten auf Nabenhöhe 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 wurden für die Berechnung der Windgeschwindigkeiten auf Nabenhöhe nur die Werte auf den zwei oberen Messniveaus benutzt.
- Die Windgeschwindigkeit ist auf 10 m grösser als auf 20 m oder gleich gross. In diesem Fall wurden für die Berechnung der Windgeschwindigkeiten auf Nabenhöhe ebenfalls nur die Werte auf den zwei oberen Messniveaus benutzt.

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

Parameter	Mittelwert	Min.	Max.	Standardabweichung
α	0.056	0.00	1.68	0.03

Tab 25. 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.

7.6.2 Das Windpotential auf Nabenhöhe

Tabelle 26 und Abbildung 20 zeigen das Windpotential auf Nabenhöhen von 50 m und 60 m über Boden am Standort Gotthard.

Monat	Mittlere WG	Mittlere WG	Mittlere LD	Mittlere LD
	50 m [m/s]	60 m [m/s]	50 m [W/m ²]	60 m [W/m ²]
Dezember 2000	5.4	5.5	151	154
Januar 2001	6.9	6.9	715	731
Februar 2001	7.1	7.1	366	374
März 2001	5.7	5.7	161	164
April 2001	7.5	7.5	392	401
Mai 2001	4.9	4.9	102	104
Juni 2001	5.9	5.9	195	198
Juli 2001	5.9	5.9	174	178
August 2001	5.3	5.4	118	121
September 2001	6.8	6.9	254	261
Oktober 2001	5.0	5.1	103	107
November 2001	6.6	6.6	296	303
Dezember 2001	6.0	6.1	205	211
Januar 2002	5.4	5.4	132	136
Februar 2002	6.0	6.0	221	225
März 2002	6.2	6.2	225	229
April 2002	6.0	6.0	174	177
Mai 2002	5.4	5.4	129	131
Juni 2002	4.6	4.6	116	119
Juli 2002	5.1	5.2	129	132
Mittelwert aller Messungen	6.1	6.1	246	252

Tab 26. Die berechneten monatlichen Windgeschwindigkeiten (WG) und Leistungsdichten (LD) auf Nabenhöhen 50 und 60 m über Boden am Standort Gotthard.

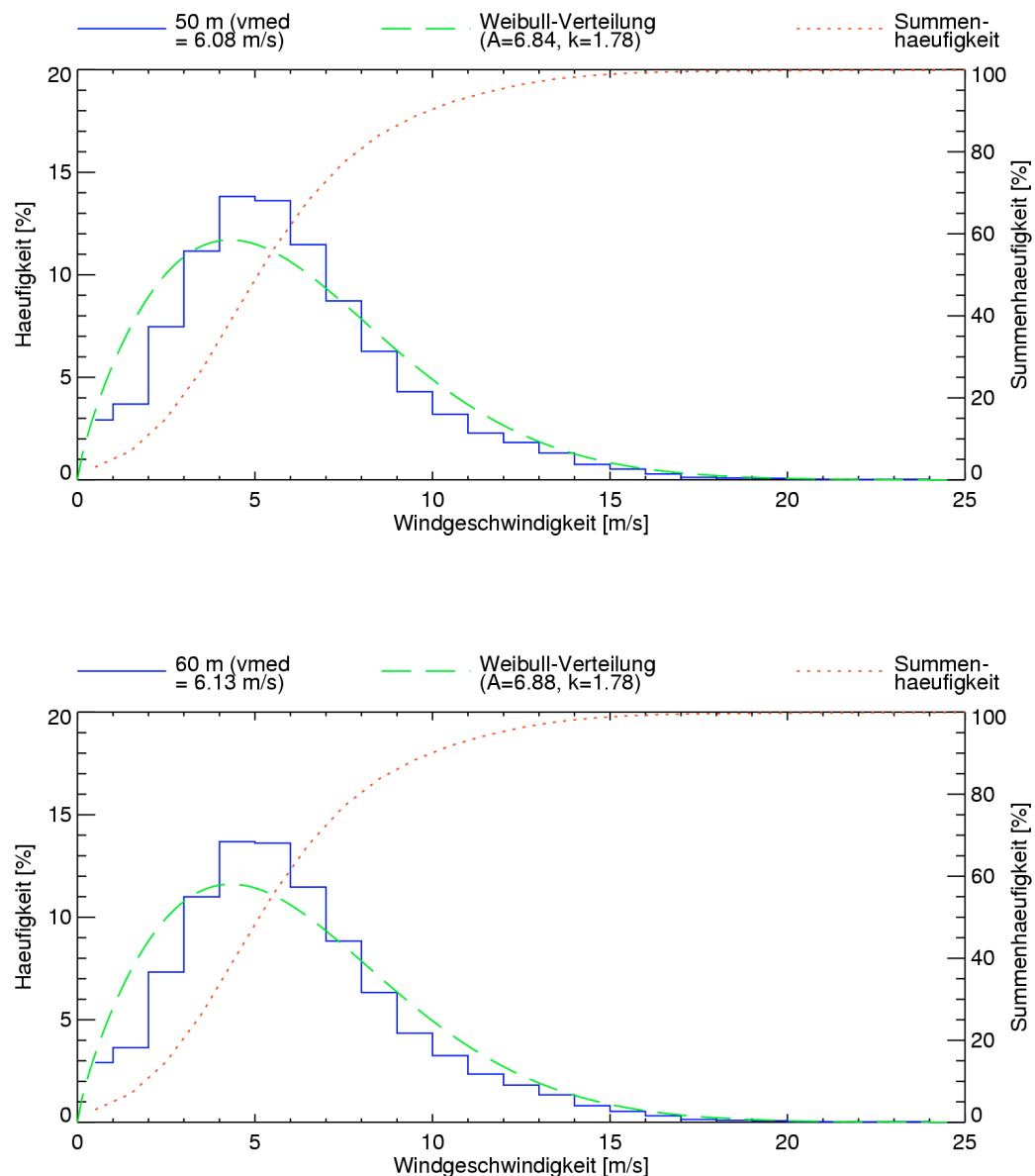


Abb 20. Die berechnete Wind-Häufigkeitsverteilung auf den Nabenhöhen 50 m und 60 m über Boden am Standort Gotthard.

8. DISKUSSION DER RESULTATE

Bei den in diesem Schlussbericht enthaltenen Resultaten handelt es sich um die definitive Interpretation der Ergebnisse. Die Aussagen sind als endgültig zu betrachten, da nicht davon auszugehen ist, dass die fortlaufenden Messungen mit dem 10-m-Mast Auswirkungen auf die Interpretation der generellen Windverhältnisse haben werden.

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.

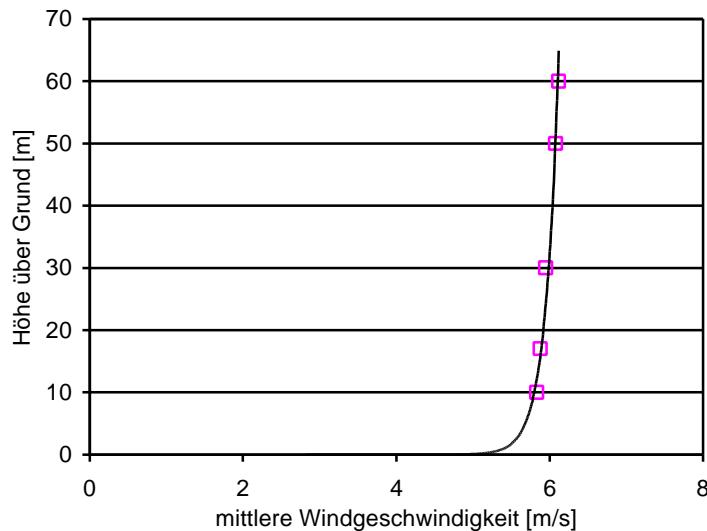


Abb 21. Mittleres vertikales Windprofil am Standort Gotthard.

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 mit der Höhe ist sehr gering im Vergleich zu Standorten in flachem Gelände. Je nach Windrichtung wird teilweise gar eine Abnahme der Windgeschwindigkeit von 10 auf 30 m Höhe gemessen. Um eine genauere 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 der 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 Windverhältnissen an der Messstation abgeschätzt.

In der Region Gotthard 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, die uns bekannt wären.

Im Zeitraum der Messperiode wurden die Monatsmittel von benachbarten Meteostationen mit den vervollständigten Datensätzen auf 10 m der Messstation Gotthard verglichen. Tabelle 28 zeigt die daraus resultierenden Korrelationskoeffizienten. Die Daten der Stationen Matro und Generoso zeigen beim Vergleich der Monatsmittelwerte der Windgeschwindigkeit die besten Korrelationen. Wir stützten die langjährige Abschätzung deshalb auf diese beiden Stationen.

Stationen	Korrelation Monatsmittel mit Gotthard
Matro	0.793
Generoso	0.683
Gütsch	0.468
Grimsel	0.382
Cimetta	0.203
Piotta	0.119

Tab 27. Benachbarte Meteostationen der Station Gotthard mit Korrelationen mit den Messungen in 10 m Höhe der Station Gotthard. Korrelation von Monatsmitteln.

Mit dem Datensatz der beiden 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.

Monat	Verhältnis		Mittelwert
	Langj./MP Matro	Langj./MP Generoso	
Dezember 2000	0.964	1.333	1.149
Januar 2001	0.783	1.331	1.057
Februar 2001	0.626	0.930	0.778
März 2001	0.983	1.246	1.115
April 2001	0.971	1.003	0.987
Mai 2001	1.038	1.250	1.144
Juni 2001	0.797	1.084	0.940
Juli 2001	0.818	1.162	0.990
August 2001	0.898	1.459	1.179
September 2001	0.879	0.922	0.901
Oktober 2001	1.000	1.287	1.144
November 2001	1.034	1.153	1.093
Dezember 2001	0.818	0.833	0.826
Januar 2002	1.125	1.320	1.223
Februar 2002	1.000	1.022	1.011
März 2002	1.000	1.221	1.111
April 2002	1.269	1.674	1.472
Mai 2002	1.000	1.187	1.094
Juni 2002	1.119	1.489	1.304
Juli 2002	0.833	1.227	1.030
Jahresmittelwert 2001	0.887	1.138	1.013

Tab 28. Verhältnisse der langjährigen Daten 1983 - 1997 (Langj.) und der Messperiode (MP) der Stationen Matro und Generoso.

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 Gotthard erfolgte bei letzteren auch eine gute Abschätzung des langjährigen Windpotentials.

Die Faktoren sind in Tabelle 29 wiedergegeben. Die Auswertungen ergaben, dass im langjährigen Mittel mit leicht mehr Wind (1 %) zu rechnen ist als im Jahr 2001.

Die aus den beiden Meteostationen gemittelten Faktoren wurden mit den monatsweise gemessenen (10, 17 und 30 m) bzw. berechneten (50 und 60 m) 10-Minuten-Werten der Windgeschwindigkeit der Messstandorte multipliziert. Die daraus resultierenden langjährig zu erwartenden Monatsmittel am Standort Gotthard sind in Tabelle 30 angegeben. Es wurde die ganze Messperiode berücksichtigt, indem für doppelt gemessene Monate (Dezember - Juli) der Mittelwert verwendet worden ist.

Monat	Mittlere WG		Mittlere WG		Mittlere WG	
	10 m [m/s]	17 m [m/s]	30 m [m/s]	50 m [m/s]	60 m [m/s]	
Januar	6.7	6.7	6.8	6.9	7.0	
Februar	5.6	5.6	5.7	5.8	5.8	
März	6.4	6.4	6.5	6.6	6.6	
April	7.9	7.9	8.0	8.1	8.2	
Mai	5.5	5.6	5.6	5.7	5.8	
Juni	5.6	5.7	5.7	5.8	5.8	
Juli	5.5	5.6	5.6	5.7	5.8	
August	5.9	6.0	6.1	6.3	6.3	
September	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	
Oktober	5.3	5.4	5.6	5.7	5.8	
November	6.9	7.1	7.1	7.2	7.2	
Dezember	5.4	5.5	5.5	5.6	5.6	
Jahresmittelwert	6.0	6.1	6.2	6.3	6.3	

Tab 29. Das langjährige Windpotential am Standort Gotthard (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. 9.2). Das benutzte Eichverfahren ist für eine genaue Kalibration der Ice-Free-II-Sensoren nicht geeignet.
- Der Rechenfehler ist vernachlässigbar (Abs. 9.3).
- Der Fehler der einzelnen 10-Minuten-Werte der Windgeschwindigkeit des bereinigten Datensatzes beträgt 2.0 % für die #40-Max-Anemometer und 4.5 % für die Ice-Free-II-Anemometer (Abs. 9.4).
- Der Fehler der einzelnen 10-Minuten-Werte der Windgeschwindigkeit des vollständigen Datensatzes beträgt je nach Ursprung der Daten 2 - 6 % (Abs. 9.5).
- Der Fehler der Monatsmittelwerte der Windgeschwindigkeit auf den Messhöhen beträgt 2 % für Monate ohne Datenlücken und Jahremittelwerte (Abs. 9.6).
- Der Fehler der Extrapolation auf Nabenhöhen kann für das komplexe Gelände des Standorts nicht abgeschätzt werden (Abs. 9.7).
- Der Fehler in der Bestimmung des langjährigen Windpotentials wurde zu 9.5 % für die Mittelwerte der Windgeschwindigkeit abgeschätzt (Abs. 9.8).
- Mögliche Abweichungen zu anderen Messkonfigurationen (bedingt durch andere Anemometer-Typen) wurden untersucht (Abs. 9.9), aber in der Fehlerrechnung nicht berücksichtigt, da wir bei der Angabe von Resultaten und Fehlern das benutzte Messsystem voraussetzen.

9.2 NACHEICHUNG

Alle benutzten Anemometer der 30-m-Messstation 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 derart gewählt, damit 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 worden ist.

Die Auswertung (Tab. 25) zeigt bei den #40-Max-Anemometern eine gute Übereinstimmung der einzelnen Kalibrationsfunktionen mit der Standardkalibration. Die maximale prozentuale Abweichung beträgt 1.5 % (Anemometer Serien-Nr. C043), 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 Mai 2002 defekt aus und konnte deshalb nicht nachgeeicht werden.

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

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-Anemometern 6.7 % (Anemometer Serien-Nr. III20, Tab. 31). 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 aufwies. Dadurch lagen die Anemometer wahrscheinlich nicht vollständig innerhalb der laminaren Luftströmung.

Seriennummer Anemometer	Steigung Nacheichung [m]	Abweichung von 0.765 [%]
Got1	0.767	0.25
C043	0.754	-1.50
Got02	-	-
Mittelwert	0.761	-0.63

Tab 30. Resultate der Nacheichung der eingesetzten #40-Max-Anemometer.

Seriennummer Anemometer	Steigung Nacheichung [m]	Abweichung von 0.765 [%]
III20	0.577	6.7
III30	0.593	0.6
Mittelwert	0.585	3.7

Tab 31. 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 1.5 % (#40 Max) als konservative Schätzung für die durch die individuellen Anemometerunterschiede verursachten Messfehler verwendet. Für die Ice-Free-II-Anemometer ist die in der Auswertung beobachtete Abweichung von 4 % übernommen worden (Kapitel 5.1) Der grosse Fehler der Ice-Free-II-Anemometer spielt in der weiteren Auswertung keine Rolle mehr, da die Ice-Free-II-Daten an die #40-Max-Daten angeglichen worden sind (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 durch sowohl den Mast als auch den Ausleger möglich. Die Unsicherheit kann zwischen 0.2 und 3.0 % betragen⁵. Weil die Ausrichtung der Sensoren sorgfältig erfolgte und die Hauptwindrichtungen berücksichtigt wurden, gehen wir hier von einem Fehler von 0.5 % aus.

⁴ Lockhart, T.J., Bailey, B.H., 1997: The Maximum Type 40 Anemometer Calibration Project.

⁵ Albers, A., Klug, H., 1999: Windmessung ist nicht gleich Windmessung. Erneuerbare Energien, Nr.7.

9.4.3 Gesamter Fehler der bereinigten Daten

Der totale Fehler der Einzelmessungen setzt sich aus dem durch die Anemometer-Unterschiede verursachten Fehler (1.5 % für #40 Max bzw. 4.0 % 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 2 % (#40 Max) bzw. 4.5 % (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 9.4.3. angegebene Fehler von 2 %.
2. Abbildung 22 zeigt das Verhältnis der #40-Max-korrigierten Ice-Free-II-Daten zu den #40-Max-Daten auf 30 m. Die Standardabweichung stellt ein gutes Mass für den mittleren Fehler dar. Sie liegt je nach Messniveau bei 3.0 - 3.5%. Hinzu kommt der systematische Fehler der #40Max-Messung von 2 %. Es ergibt sich somit ein totaler Fehler von 5.0 - 5.5%.
3. Wir wählten ein empirisches Verfahren, um den Fehler der extrapolierten Daten abzuschätzen: Wir berechneten mit einer durch die zwei Messwerte auf 10 und 17 m bestimmten Potenzfunktion die Windgeschwindigkeit auf 30 m und verglichen diese mit der tatsächlich auf 30 m gemessenen Windgeschwindigkeit. Abbildung 23 zeigt das Resultat für (relevante) Geschwindigkeiten von über 3 m/s. Die Standardabweichung ist ein gutes Mass für den mittleren Fehler und beträgt 3.8 % Der Fehler der #40Max-Messung pflanzt sich fort. Damit ergibt sich hier ein totaler Fehler von ca. 6 %.

Für welche Perioden welcher Fehler gilt, lässt sich aus Abbildung 2 ableiten: Im Falle einer #40-Max-Messung gilt der erste Fehler, im Falle, dass 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.

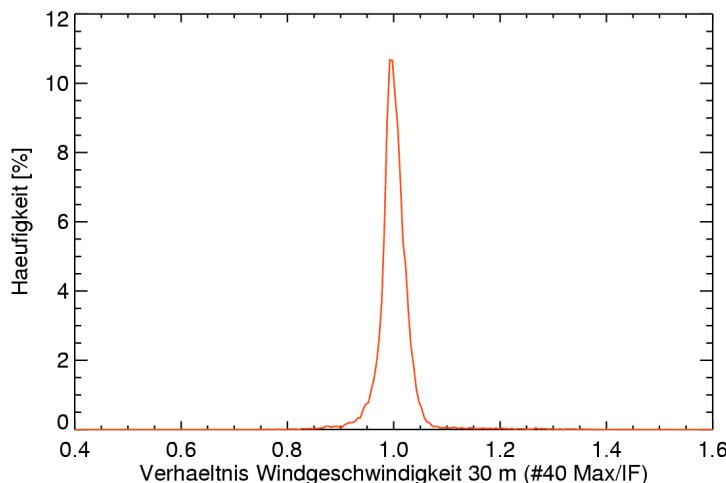


Abb 22. Verhältnis der #40-Max-Anemometer-Daten mit den korrigierten Ice-Free-II-Daten auf 30 m für (relevante) Geschwindigkeiten von über 3 m/s. Die Standardabweichung beträgt 0.035.

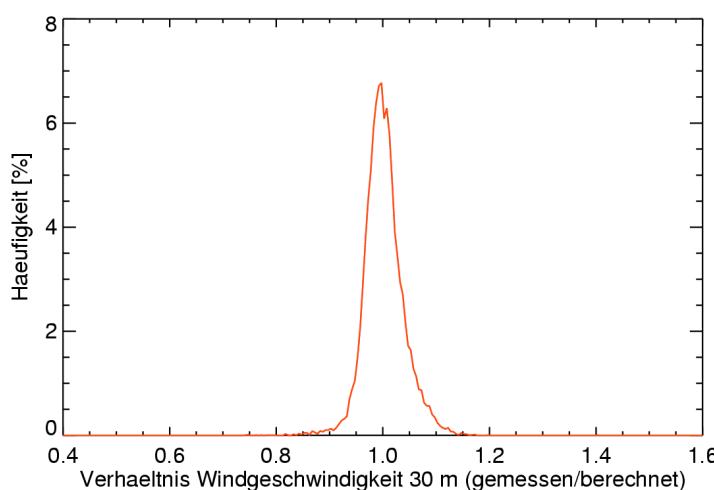


Abb 23. Verhältnis der gemessenen (#40-Max-Anemometer) mit den aus den Ice-Free-II-Daten von 17 m extrapolierten Windgeschwindigkeiten auf 30 m für (relevante) Geschwindigkeiten von über 3 m/s. Die Standardabweichung beträgt 0.038.

9.6 FEHLER VON MONATS- UND JAHRESMITTELWERTEN IN MESSHÖHEN

Für Monats- und Jahresmittelwerte gleichen sich die Fehler durch die 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 2 % für Jahresmittelwerte und für Monate mit vollständigen Daten. Für die Monate Januar 2001, Februar 2001 und Dezember 2001 liegt der Fehler aufgrund der Messlücken etwas 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 (siehe Kapitel 8.2).

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 2 %. Der totale Fehler für die Abschätzung des langjährigen Windpotentials beträgt somit 9.5 % auf den Messhöhen 10, 17 und 30 m. Für die mittlere Leistungsdichte des Windes bedeutet dies einen Fehler von 28.5 %. Für die Extrapolation auf Nabenhöhen kann aufgrund der Unsicherheit der Annahme einer Potenzfunktion im komplexen Gelände wiederum keine Angabe gemacht werden (Abs. 9.7).

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

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 verwendet worden ist.

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. 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 4 % liegen.

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

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. 9.9.1). 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.

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.

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

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 von Gotthardpass 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. Die angewandte Methodik entspricht derjenigen, welche im Europäischen Windatlas beschrieben ist. Sämtliche Windfeldberechnungen laufen über WAsP. Die Ertragsprognosen müssen also mit einem grosszügigen Sicherheitsfaktor nach unten korrigiert werden. Die Windstatistiken wurden aus den Messungen erstellt. In einem ersten Schritt wurde das Modell kalibriert, danach Windprofile und Ressourcenkarten 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. Auf den Standorten im Gelände, wo ein Messmast installiert war, wurde ein Terrainobjekt eingesetzt. Zuerst wurden aus den Daten der 30 Meter Messung verschiedene Windstatistiken gerechnet, entsprechend den Messperioden der 10 Meter Messung. Um das Modell zu kalibrieren, rechneten wir sodann vom Standort des 30 m Mastes mit den Windstatistiken der entsprechenden Messperioden auf die Standorte der 10 m Masten. Auf diese Art konnte das Windmodell zusätzlich auf Plausibilität und Modellgrenzen hin untersucht werden.

Für die Berechnungen wurden sowohl das digitale Höhenmodell als auch die Rauhigkeitskarte, jedoch keine Hindernisse verwendet. Die Orographie wurde via digitalem Höhenmodell berücksichtigt.

Das Höhenmodell und die Rauhigkeitskarte wurden so lange verfeinert, bis die 10 Meter Messung aus dem Modell stabil reproduziert werden konnte. Dies ist bei der vorliegenden Topographie nur bedingt möglich, da, wie bereits erwähnt, keine Strömungsabrisse berücksichtigt werden können und die Modellwerte eher zu optimistisch ausfallen.

Nachdem mit Verbesserung der digitalen Eingangsdaten keine genaueren Resultate mehr erzielt werden konnten, berechneten wir eine Windstatistik mit den langjährig abgeglichenen 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.

10.2.3 WAsP-Interface

Die Windsituation wurde für jedes Terrainobjekt respektive jeden Messstandort berechnet. Dieses Resultat kann direkt der Messung gegenübergestellt werden. Der Referenzwert wird für eine AN Bonus, 1.3 MW mit Nabenhöhen 68 Meter, ausgewiesen. Das Windprofil ist anhand der 10-Meter-, 17-Meter- und 30-Meter-Winddaten berechnet worden.

10.3 ERGEBNISSE

10.3.1 Kalibration

Mit den Winddaten der 30-m-Levels des Standortes des 30 m Messmastes wurden WasP-Windstatistiken erstellt. Mit der Windstatistik wurde dann ein Windprofil für die Messstandorte Sella, Damm und Wagenheber gerechnet. Das Höhenmodell und die Rauhigkeitskarte wurden solange verfeinert, bis alle Messungen mit einer Genauigkeit von mindestens +/- 0.5 m/s rekonstruiert werden konnten. Die Messstation Wagenheber wurde wegen zu vieler Datenausfälle (Vereisung: Wochendaten mit 20 bis 30 % der Windgeschwindigkeiten auf 0 m/s) verworfen.

	Sella	Damm	Wagenheber
Messperiode	9. Juli - 9. August 2002	2. Juni - 18. Juni 2002	15. August - 10. Oktober 2001
Mittelwert Windgeschwindigkeit gemessen	5.2	3.2	3.8
Mittelwert Windgeschwindigkeit berechnet mit WAsP	5.7	3.0	7.0
Unterschied	+ 0.5	- 0.2	+3.2

Tab 32. Unterschiede zwischen berechneten und gemessenen mittleren Windgeschwindigkeiten auf 10 m Höhe.

Die Messwerte können nicht mit guter Genauigkeit reproduziert werden. Die entsprechenden Windprofile sind im Anhang WAsP-Kalibration aufgeführt.

Es traten im Verlauf der Berechnungen folgende Probleme auf:

- Karten sollten genauer sein, um die Topographie (und deren Effekte auf die Windverhältnisse) des Gebietes besser zu modellieren (1:5'000 oder 1:10'000 Karten)
- Vereisung: Auf der Messstation Wagenheber wurden häufig Vereisungen festgestellt
- Distanz: WAsP-Berechnungen in Gebieten mit ausgeprägter Topographie sind zuverlässiger bei kleinen Modellierungsgebieten
- Kuppeneffekte

Bei der Eichung des Modells haben wir folgendes Abbruchkriterium eingesetzt: Da am Standort Sella die Windgeschwindigkeiten überschätzt und bei Damm unterschätzt wurden, haben wir uns entschlossen, dass bei diesen Bedingungen keine bessere Eichung möglich ist. Es ist sehr schwierig, eine Eichung mit 10 m Messmasten durchzuführen, man kann aber ruhig behaupten, dass die Unsicherheitswerte auf dem 10 m Niveau sicher grösser sind als bei 50 oder 70 m. Es folgt daraus, dass die Unterschiede zwischen 10 m Messung und 10 m Berechnung als maximal betrachtet werden können. Für dieses Projekt liegt der Fehler bei ± 0.5 m/s.

10.3.2 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 Gotthardpasshöhe relativ homogen (alle Windkraftanlagen sind in diesem Gebiet enthalten). Im Nordteil ab San Carlo nehmen die Windgeschwindigkeit ab.

Die Windwerte auf 50 m Höhe über das ganze Gebiet werden vom WAsP-Modell überschätzt (Siehe u.a. Ressourcenkarte, zum Vergleich Mittelwert auf 50 m Höhe in der Tabelle 26). Am Standort des 30 m Messmastes werden die Werte z.B. um ungefähr 0.3 m/s überschätzt.

10.3.3 Ertragsberechnung

Die Ertragsaussichten für das Gotthardpassprojekt sind für ein Projekt im alpinen Gebiet ermutigend und positiv: Der durchschnittliche Jahresertrag des Projektes beläuft sich auf ca. 2'000 MWh/a pro Anlage, was ungefähr 1500 Vollaststunden pro Anlage entspricht.

11. ANFORDERUNGEN AN DIE EINZUSETZENDEN WKA

Die für den Gotthard 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 Gotthardpass verglichen mit dem schweizerischen Windgeschehen gut sind, 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 Gotthard 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 Gotthard ist sie trotzdem noch in der Grössenordnung derjenigen auf 10 m. Aus Tabelle 9 (Analyse der Turbulenzintensität) kann abgeleitet werden, dass bei Geschwindigkeiten grösser als 5 m/s eine Turbulenzintensität grösser als 0.2 eine Seltenheit darstellt. Zu bemerken ist, dass beim Sektor zwischen 75° und 105° die Turbulenzintensität bei jeder der erreichten Windgeschwindigkeiten fast immer grösser als 0.2 ist. Allerdings ist die Häufigkeit von Winden in diesem Sektor sehr klein und die gemessenen Geschwindigkeiten übertreffen 8 m/s kaum.

Trotz den erfreulich tiefen Turbulenzwerten in Anbetracht des Gebirgsumfeldes muss beachtet werden, dass der Messsturm 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 45 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 2'100 m über Meer) auch bezüglich der Vereisung spezielle Anforderungen an die WKA. Gemäss WECO-Studie muss im Gebiet des Gotthards mit 10 - 30 Frosttagen (Icing days) auf 1'500 m gerechnet werden. Eine detailliertere Auswertung unserer Temperaturmessungen ist im Kapitel 7.5 zu finden. Die tiefe mittlere Temperatur von 3.2° C und das Minimum von - 19.8° C machen aber genügende Vorkehrungen für die Verhinderung von Vereisungen der Rotorflächen unabdingbar.

Als Vergleich kann uns auch der nahegelegene Standort Gütsch 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 Granit, 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 zeigen, dass am Standort Gotthard Windkraftanlagen errichtet und wirtschaftlich betrieben werden können. Die Windmessungen präsentieren ein abgerundetes Bild, weitere Messungen (wie beispielsweise mit einem SODAR o.ä.) sind zur Zeit nicht erforderlich.

Die eingereichte Vorprojektdokumentation beinhaltet den aktuellen Projektierungsstand. Wir gehen davon aus, dass auf dem Gotthard in der jetzigen Phase bis zu 7 Windenergieanlagen zu jeweils 1.3 MW Leistung, d.h. total rund 9 MW Leistung installiert werden können. Bis zu einer Baubewilligung müssen jedoch noch aufwendige und umfangreiche Projektierungs- und Planungsarbeiten durchgeführt werden, u.a. deshalb, weil auf der Gotthardpasshöhe raumplanerisch keine Zonen für die Nutzung des Windes ausgeschieden worden sind.

Zusammen mit einem lokalen Energieversorgungsunternehmen hoffen wir, dem Projekt entsprechendes Gewicht bei den Behörden verleihen zu können, so dass das Bewilligungsverfahren kontinuierlich ablaufen kann. Eine Umsetzung des Projektes ist gemäss heutigem Kenntnisstand auf den Sommer 2004 geplant.

NEK UMWELTTECHNIK AG

Dr. Ch. Kapp

P. Schwer

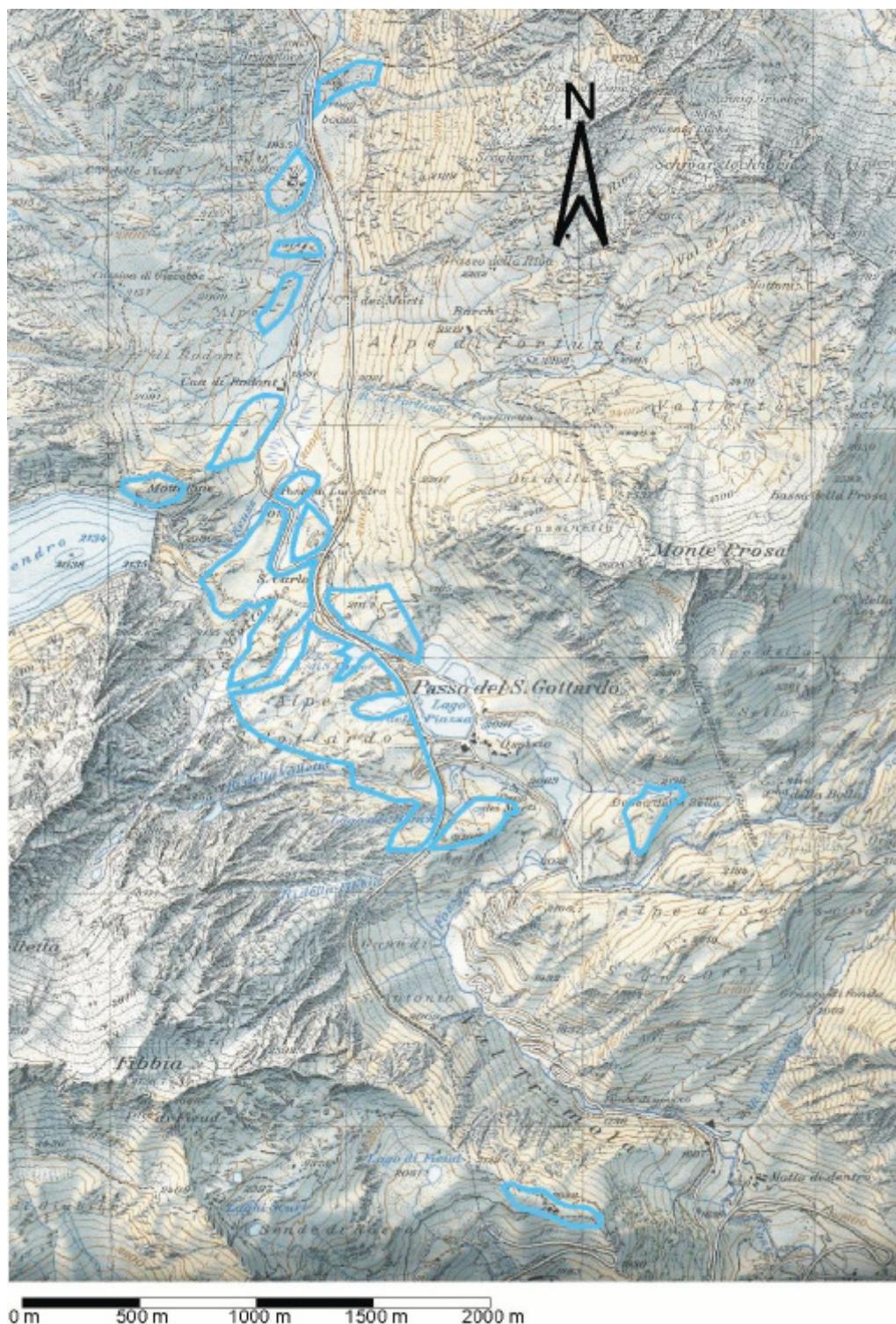
Zürich, 28. Oktober 2002 Kp/Ps/Br/re

I:\20372 Windpotentialstudie Gotthard, Schweiz\Berichte\Schlussbericht_NEK\20372_Schlussbericht_Bfe_021028defkp.doc



13. ANHANG

13.1 WINDKRAFTZONEN GOTTHARD PASSHÖHE





13.2 WINDPRO-AUSWERTUNGEN 30 M MESSMAST

Projekt:

20372: Windparkprojekt Gotthard, Schweiz

Beschreibung:

Daten aus Datei(en)

G:\Windddaten\Schweiz\Gotthard\Schlussbericht Meteotest\daten\gott_voll_ohne_999.dat

Ausdruck/Seite

28.10.2002 15:45 / 1

Lizenziert Anwender:

NEK Umwelttechnik AG

Clausiusstrasse 41

CH-8033 Zürich

+41 1 261 07 07

Berechnet:

28.10.2002 15:45/

METEO-Daten-Bericht, Höhe: 10.0

Name des METEO-Objektes: 2 Juni 02 - 18 Juni 02

Datenanfang: 01.12.2000 08:00 Datenende: 09.8.2002 09:40 Meßwerte: 85041 Meßwerte pro Tag: 144 Verfügbarkeit: 96%

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	08.02	09.02
1	(96)	144	(0)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(0)	144	144	144	144	144	144	144	144
2	144	144	(0)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(143)	144	144	144	144	144	144	144	144
3	144	144	(143)	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	144	144
5	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
6	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(143)	144	144	144	144	144	144	144	144
7	144	144	144	144	144	144	(64)	144	144	144	144	144	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	144	144	144	144
9	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(59)
10	144	144	144	144	144	(143)	144	(103)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
11	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
12	144	144	144	144	(143)	144	144	144	(124)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
13	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(1)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
14	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(0)	144	144	144	144	144	144	144	144	144
15	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(0)	144	144	144	144	144	144	144	144	144
16	144	(1)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(143)	144	144	144	144	144	144	144	144	144
17	144	(0)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
18	144	(143)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
19	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(139)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
20	144	(1)	144	144	144	144	144	144	(0)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
21	144	(0)	144	144	144	144	144	144	(77)	144	144	(1)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
22	144	(143)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(143)	144	(1)	144	144	144	144	144	144	144	144
23	144	144	144	144	144	144	144	(142)	144	144	144	144	(1)	144	(143)	144	144	144	144	144	144	144
24	144	144	(1)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(0)	144	144	144	144	144	144	144	144	144
25	144	144	(0)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(143)	144	144	144	144	144	144	144	144	144
26	144	144	(0)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
27	144	(1)	(0)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(1)	144	144	144	144	144	144	144	144	144
28	144	(0)	(143)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(143)	144	144	144	144	144	144	144	144	144
29	144	(143)	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	144	144	144	144
31	144	(1)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(1)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
%	100	(77)	(79)	100	100	(98)	100	(99)	100	(95)	(100)	100	(74)	(97)	(96)	100	100	100	100	(27)	(0)	

Projekt:

20372: Windparkprojekt Gotthard, Schweiz

Beschreibung:

Daten aus Datei(en)
G:\Winddaten\Schweiz\Gotthard\Schlussbericht
Meteotest\daten\gott_voll_ohne_999.dat

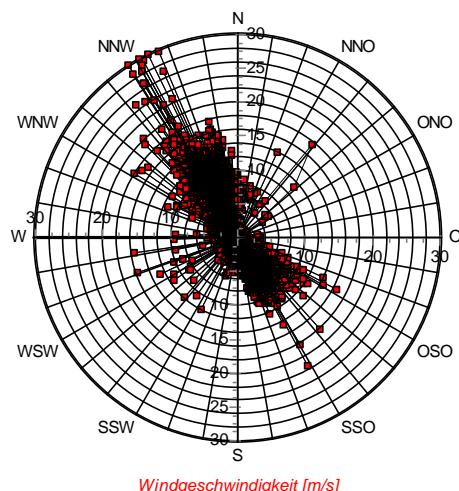
Ausdruck/Seite:

28.10.2002 15:45 / 2

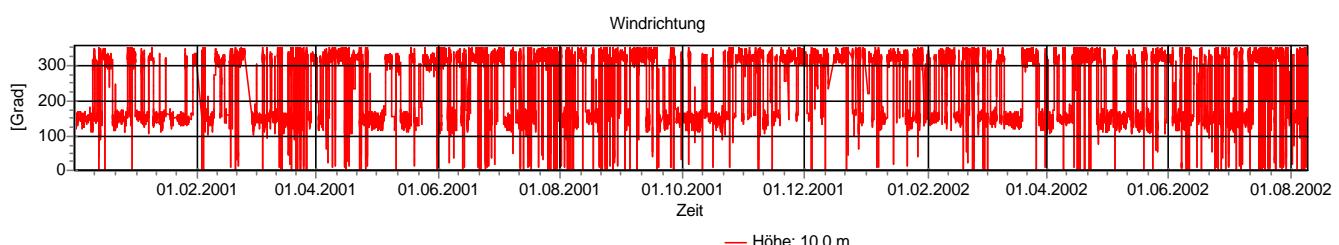
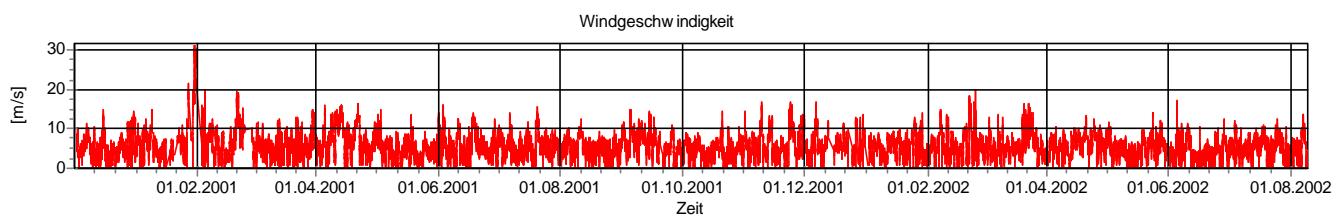
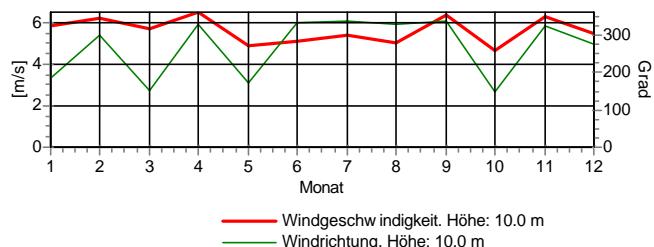
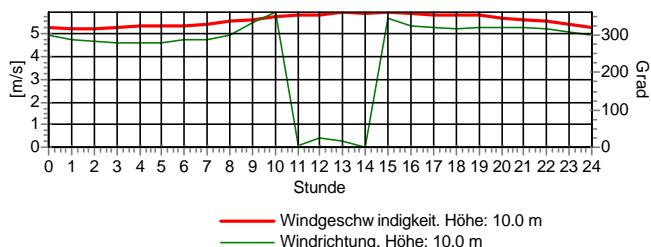
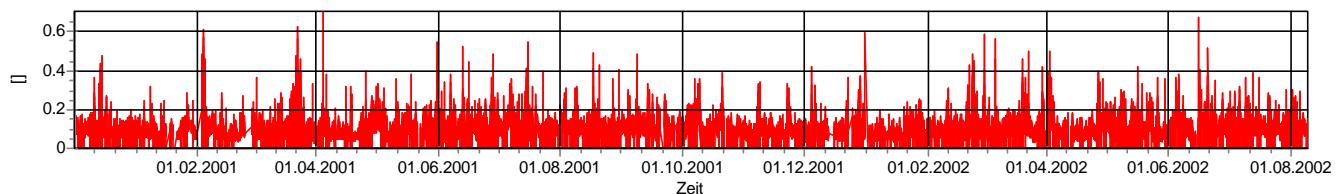
Lizenziert Anwender:

NEK Umwelttechnik AG
Clausiusstrasse 41
CH-8033 Zürich
+41 1 261 07 07Berechnet:
28.10.2002 15:45/**METEO-Daten-Bericht, Höhe: 10.0**

Name des METEO-Objektes: 2 Juni 02 - 18 Juni 02

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

Monat	2000	2001	2002	Mittel
Jan	6.7	5.1	5.8	
Feb	6.9	5.7	6.2	
Mär	5.5	6.0	5.7	
Apr	7.2	5.8	6.5	
Mai	4.7	5.1	4.9	
Jun	5.8	4.4	5.1	
Jul	5.5	5.3	5.4	
Aug	5.0	5.3	5.0	
Sep	6.4		6.4	
Okt		4.6	4.6	
Nov		6.3	6.3	
Dez	5.3	5.7	5.5	
Mittel	5.3	5.8	5.3	5.6

Turbulenzintensität
V>4.0 m/s

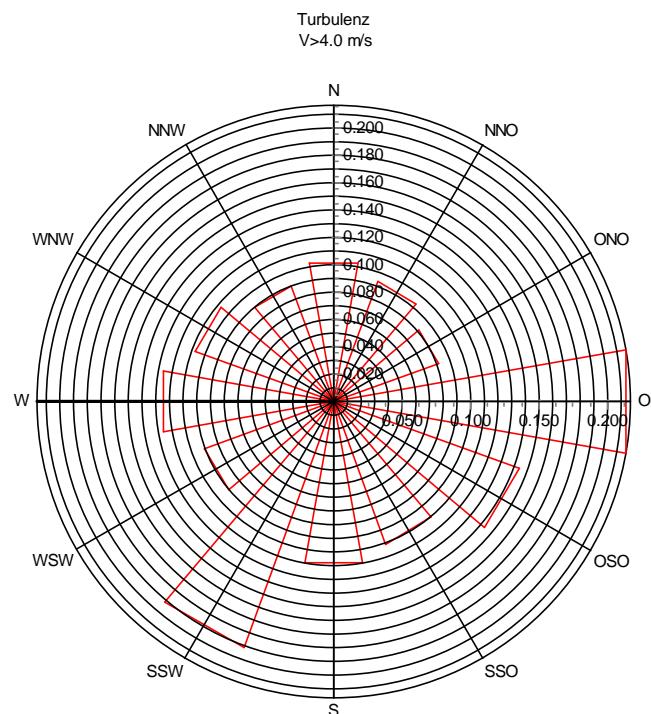
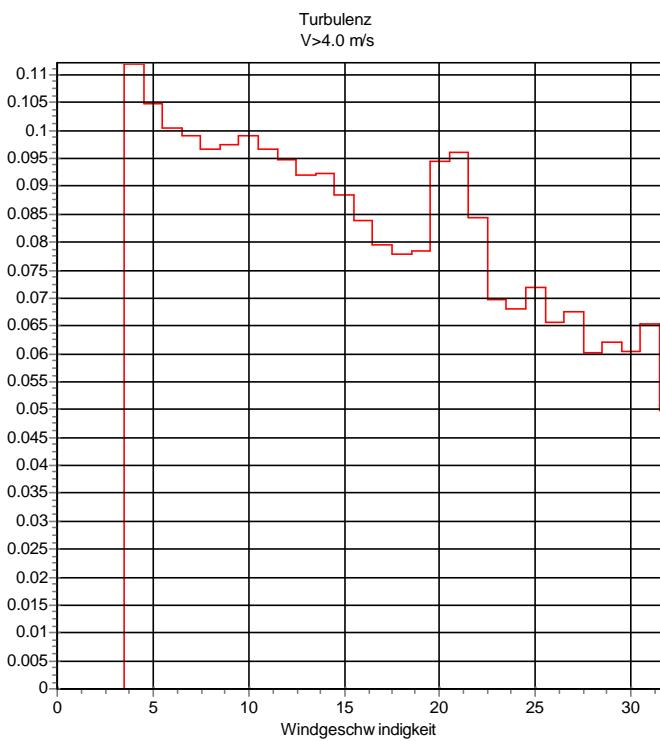
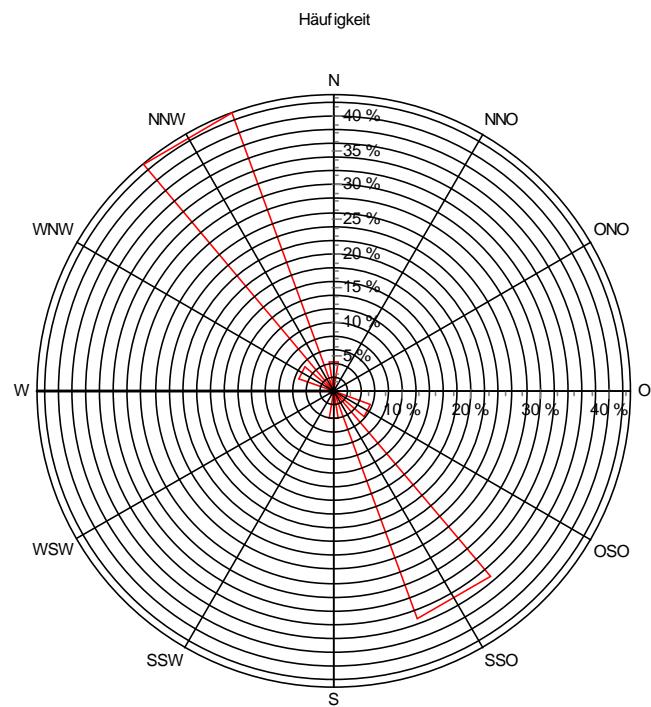
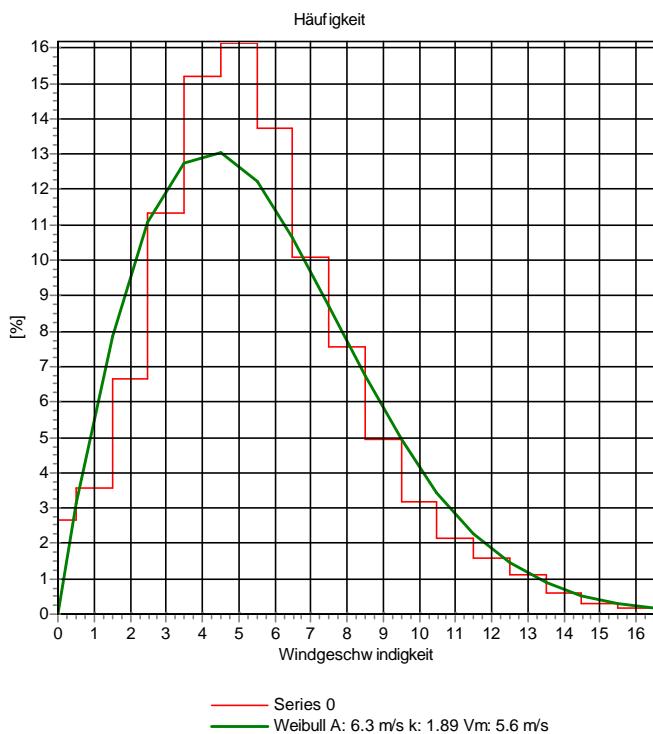
Projekt:

20372: Windparkprojekt Gotthard, Schweiz

Beschreibung:

Daten aus Datei(en)
G:\Winddaten\Schweiz\Gotthard\Schlussbericht
Meteotest\daten\gott_voll_ohne_999.datAusdruck/Seite:
28.10.2002 15:45 / 3Lizenziert Anwender:
NEK Umwelttechnik AG
Clausiusstrasse 41
CH-8033 Zürich
+41 1 261 07 07Berechnet:
28.10.2002 15:45/**METEO-Daten-Bericht, Höhe: 10.0**

Name des METEO-Objektes: 2 Juni 02 - 18 Juni 02



Projekt:

20372: Windparkprojekt Gotthard, Schweiz

Beschreibung:

Daten aus Datei(en)
G:\Winddaten\Schweiz\Gotthard\Schlussbericht
Meteotest\daten\gott_voll_ohne_999.dat

Ausdruck/Seite:

28.10.2002 15:45 / 4

Lizenziert Anwender:

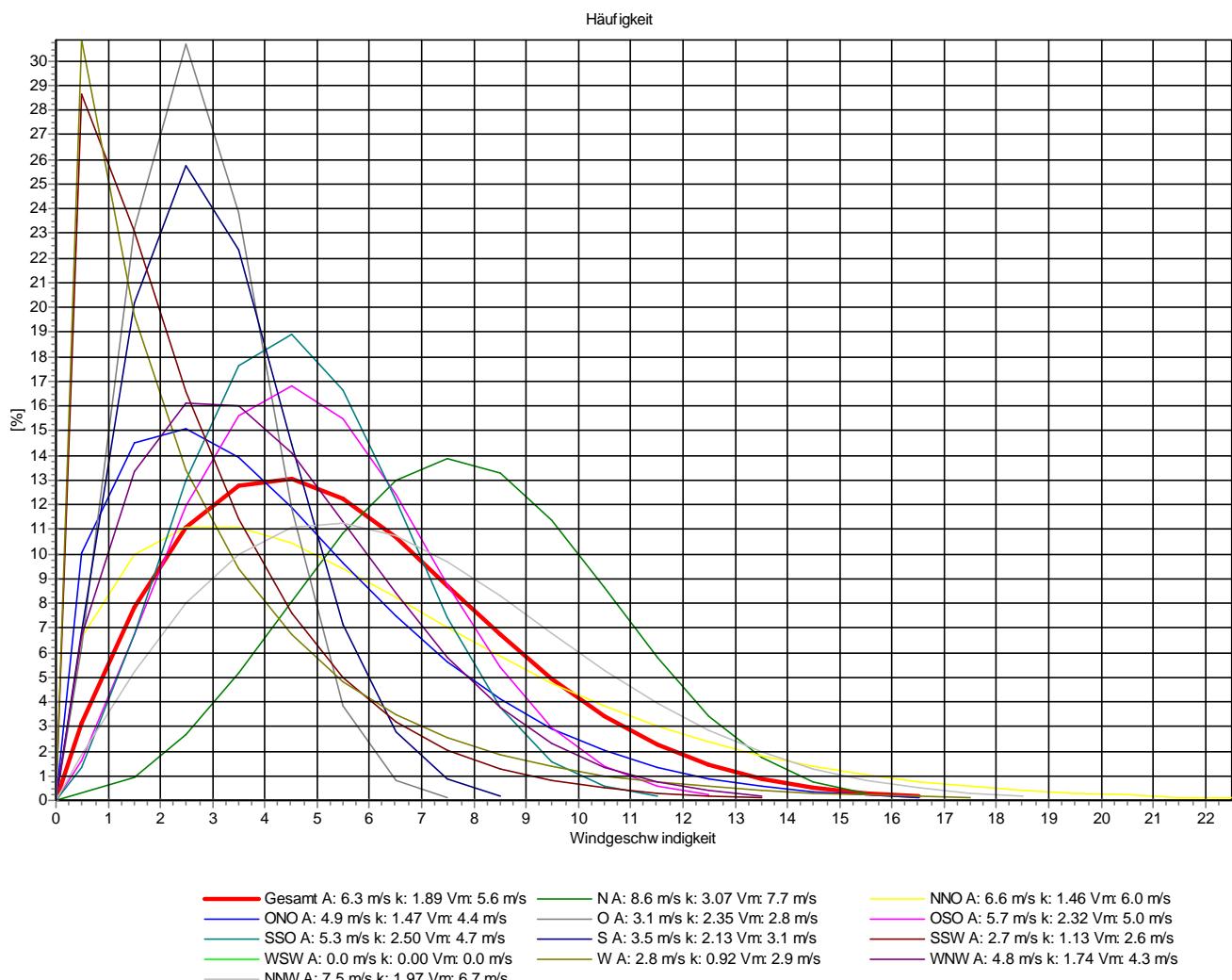
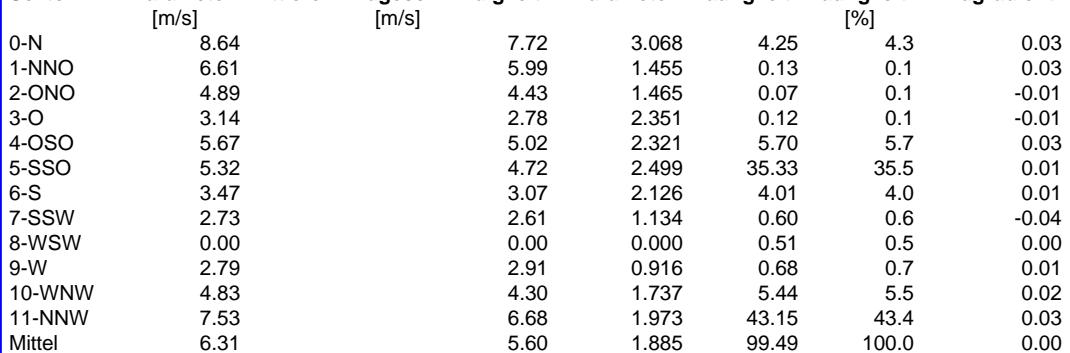
NEK Umwelttechnik AG
Clausiusstrasse 41
CH-8033 Zürich
+41 1 261 07 07Berechnet:
28.10.2002 15:45/**METEO-Daten-Bericht, Höhe: 10.0**

Name des METEO-Objektes: 2 Juni 02 - 18 Juni 02

Weibull-Daten

k-Parameter Korrekturwert: 0.0080/m

Sektor	A-Parameter [m/s]	Mittlere Windgeschwindigkeit [m/s]	k-Parameter	Häufigkeit [%]	Häufigkeit [%]	Windgradient
0-N	8.64	7.72	3.068	4.25	4.3	0.03
1-NNO	6.61	5.99	1.455	0.13	0.1	0.03
2-ONO	4.89	4.43	1.465	0.07	0.1	-0.01
3-O	3.14	2.78	2.351	0.12	0.1	-0.01
4-OSO	5.67	5.02	2.321	5.70	5.7	0.03
5-SSO	5.32	4.72	2.499	35.33	35.5	0.01
6-S	3.47	3.07	2.126	4.01	4.0	0.01
7-SSW	2.73	2.61	1.134	0.60	0.6	-0.04
8-WSW	0.00	0.00	0.000	0.51	0.5	0.00
9-W	2.79	2.91	0.916	0.68	0.7	0.01
10-WNW	4.83	4.30	1.737	5.44	5.5	0.02
11-NNW	7.53	6.68	1.973	43.15	43.4	0.03
Mittel	6.31	5.60	1.885	99.49	100.0	0.00



Projekt:

20372: Windparkprojekt Gotthard, Schweiz

Beschreibung:

Daten aus Datei(en)

G:\Windddaten\Schweiz\Gotthard\Schlussbericht Meteotest\daten\gott_voll_ohne_999.dat

Ausdruck/Seite

28.10.2002 15:48 / 1

Lizenziert Anwender:

NEK Umwelttechnik AG

Clausiusstrasse 41

CH-8033 Zürich

+41 1 261 07 07

Berechnet:

28.10.2002 15:48/

METEO-Daten-Bericht, Höhe: 17.0

Name des METEO-Objektes: 2 Juni 02 - 18 Juni 02

Datenanfang: 01.12.2000 08:00 Datenende: 09.8.2002 09:40 Meßwerte: 85041 Meßwerte pro Tag: 144 Verfügbarkeit: 96%

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	08.02	09.02
1	(96)	144	(0)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(0)	144	144	144	144	144	144	144	144
2	144	144	(0)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(143)	144	144	144	144	144	144	144	144
3	144	144	(143)	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	144	144
5	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
6	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(143)	144	144	144	144	144	144	144	144
7	144	144	144	144	144	144	(64)	144	144	144	144	144	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	144	144	144	144
9	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(59)
10	144	144	144	144	144	(143)	144	(103)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
11	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
12	144	144	144	144	144	(143)	144	144	144	144	144	144	144	(124)	144	144	144	144	144	144	144	144
13	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(1)	144	144	144	144	144	144	144	144
14	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(0)	144	144	144	144	144	144	144	144
15	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(0)	144	144	144	144	144	144	144	144
16	144	(1)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(143)	144	144	144	144	144	144	144	144
17	144	(0)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
18	144	(143)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
19	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(139)	144	144	144	144	144	144	144	144
20	144	(1)	144	144	144	144	144	144	144	144	(0)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
21	144	(0)	144	144	144	144	144	144	144	(77)	144	144	(1)	144	144	144	144	144	144	144	144	144
22	144	(143)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(143)	144	(1)	144	144	144	144	144	144
23	144	144	144	144	144	144	144	(142)	144	144	144	144	144	(1)	144	(143)	144	144	144	144	144	144
24	144	144	(1)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(0)	144	144	144	144	144	144	144	144
25	144	144	(0)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(143)	144	144	144	144	144	144	144	144
26	144	144	(0)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
27	144	(1)	(0)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(1)	144	144	144	144	144	144	144	144
28	144	(0)	(143)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(143)	144	144	144	144	144	144	144	144
29	144	(143)		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	144	144	144
31	144	(1)		144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(1)	144	144	144	144	144	144	144	144
%	100	(77)	(79)	100	100	(98)	100	(99)	100	(95)	(100)	100	(74)	(97)	(96)	100	100	100	100	(27)	(0)	

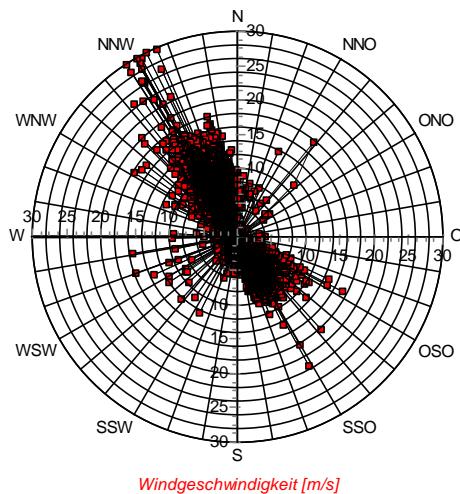
Projekt:

20372: Windparkprojekt Gotthard, Schweiz

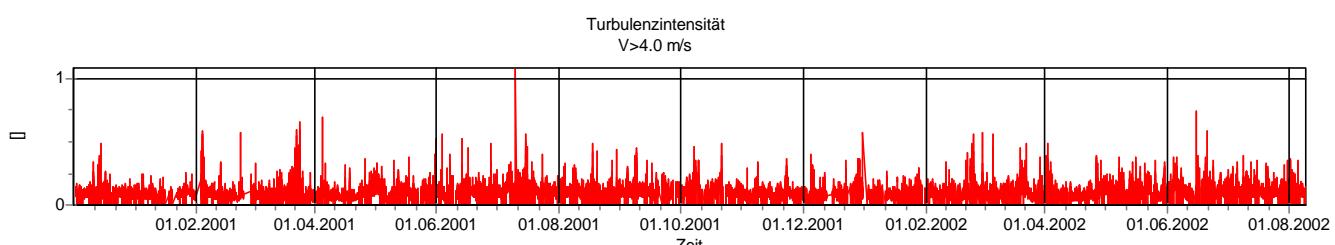
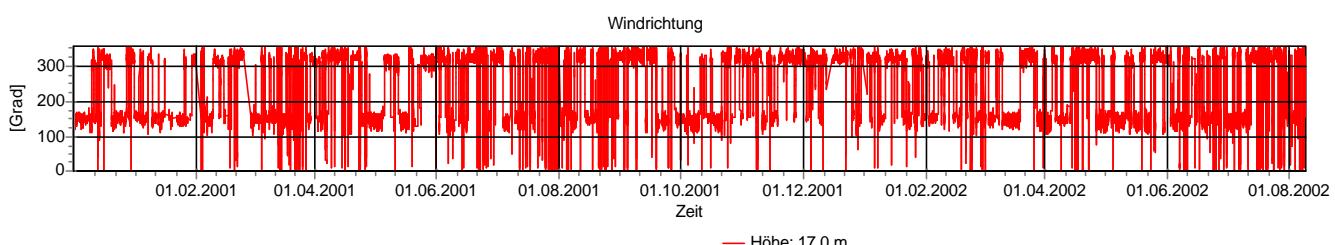
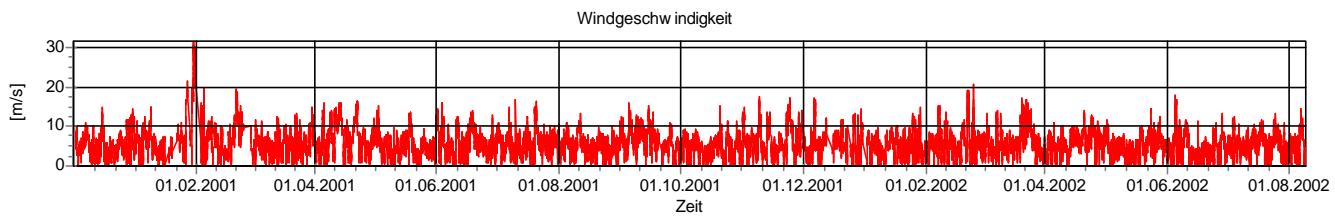
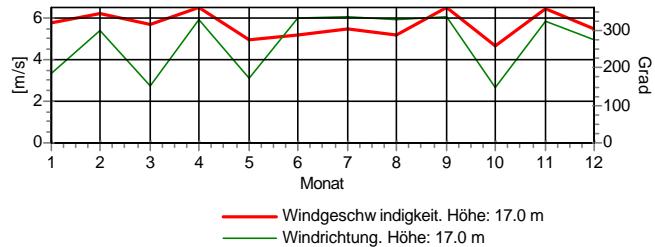
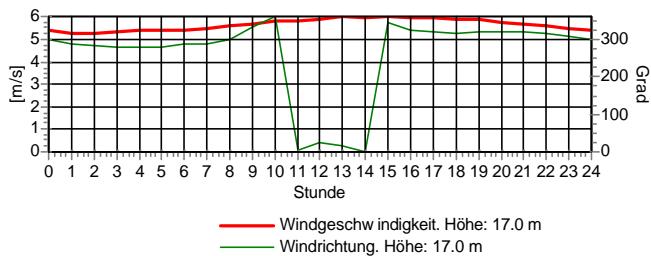
Beschreibung:

Daten aus Datei(en)
G:\Winddaten\Schweiz\Gotthard\Schlussbericht
Meteotest\daten\gott_voll_ohne_999.datAusdruck/Seite:
28.10.2002 15:48 / 2Lizenziert Anwender:
NEK Umwelttechnik AG
Clausiusstrasse 41
CH-8033 Zürich
+41 1 261 07 07Berechnet:
28.10.2002 15:48/**METEO-Daten-Bericht, Höhe: 17.0**

Name des METEO-Objektes: 2 Juni 02 - 18 Juni 02

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

Monat	2000	2001	2002	Mittel
Jan	6.7	5.1	5.8	
Feb	6.8	5.7	6.2	
Mär	5.5	6.0	5.7	
Apr	7.2	5.9	6.5	
Mai	4.8	5.2	5.0	
Jun	5.8	4.5	5.2	
Jul	5.7	5.4	5.5	
Aug	5.1	5.5	5.2	
Sep	6.5		6.5	
Okt		4.7	4.7	
Nov		6.5	6.5	
Dez	5.3	5.8	5.5	
Mittel	5.3	5.9	5.4	5.7



Projekt:

20372: Windparkprojekt Gotthard, Schweiz

Beschreibung:

Daten aus Datei(en)
G:\Winddaten\Schweiz\Gotthard\Schlussbericht
Meteotest\daten\gott_voll_ohne_999.dat

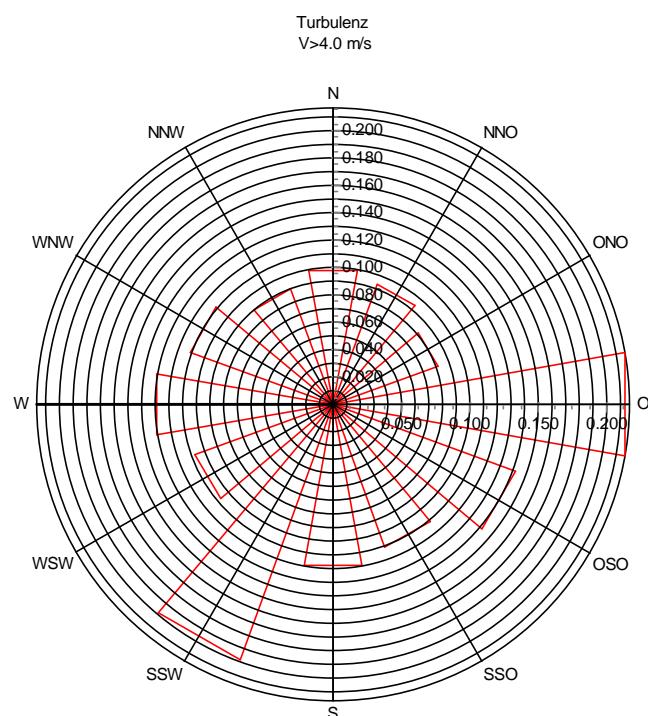
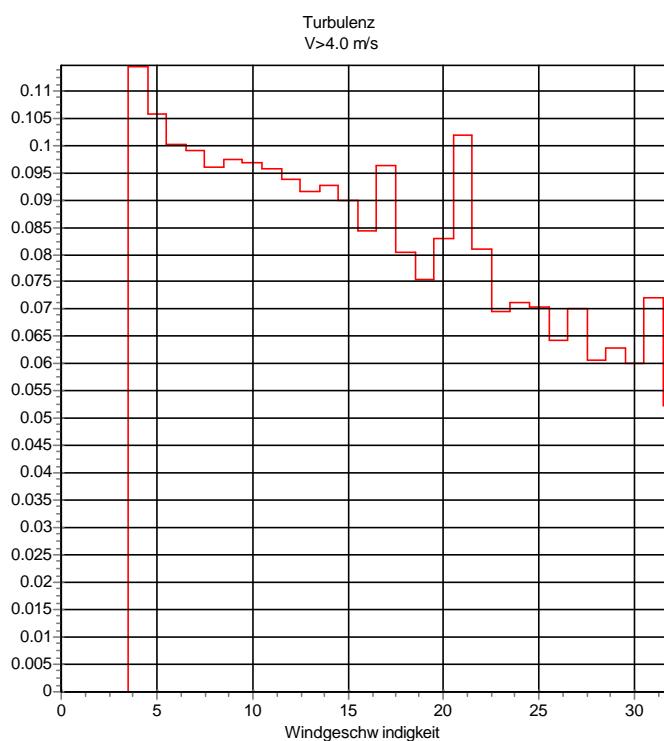
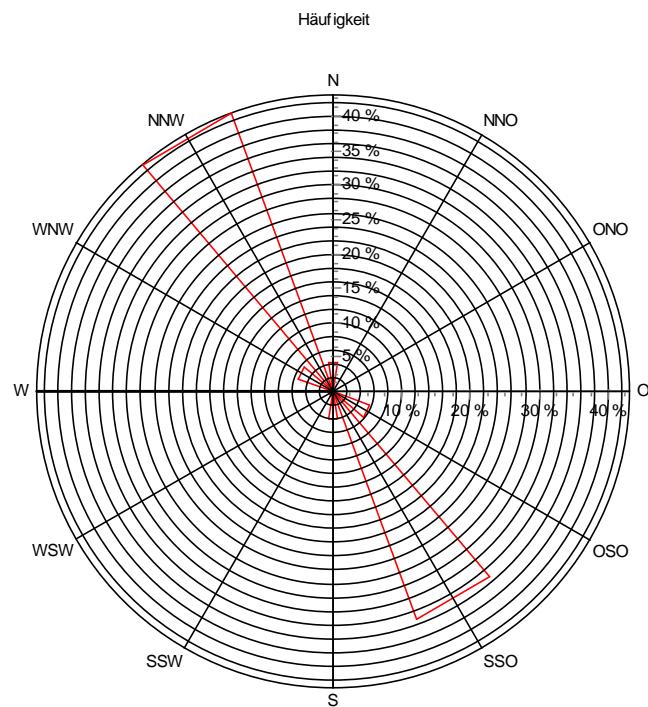
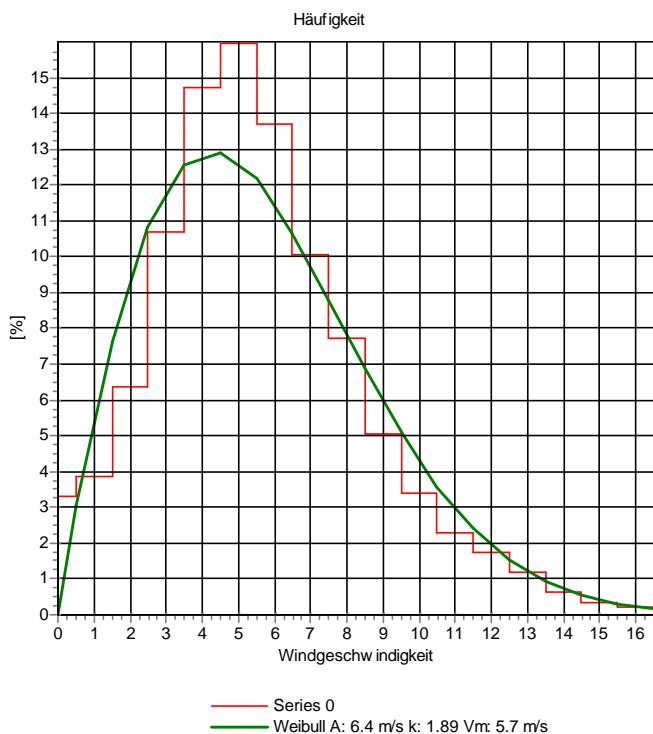
Ausdruck/Seite:

28.10.2002 15:48 / 3

Lizenziert Anwender:

NEK Umwelttechnik AG
Clausiusstrasse 41
CH-8033 Zürich
+41 1 261 07 07Berechnet:
28.10.2002 15:48/**METEO-Daten-Bericht, Höhe: 17.0**

Name des METEO-Objektes: 2 Juni 02 - 18 Juni 02



Projekt:

20372: Windparkprojekt Gotthard, Schweiz

Beschreibung:

Daten aus Datei(en)
G:\Winddaten\Schweiz\Gotthard\Schlussbericht
Meteotest\daten\gott voll ohne 999.dat

Ausdruck/Seite

28.10.2002 15:48 / 4

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

Berechnet:

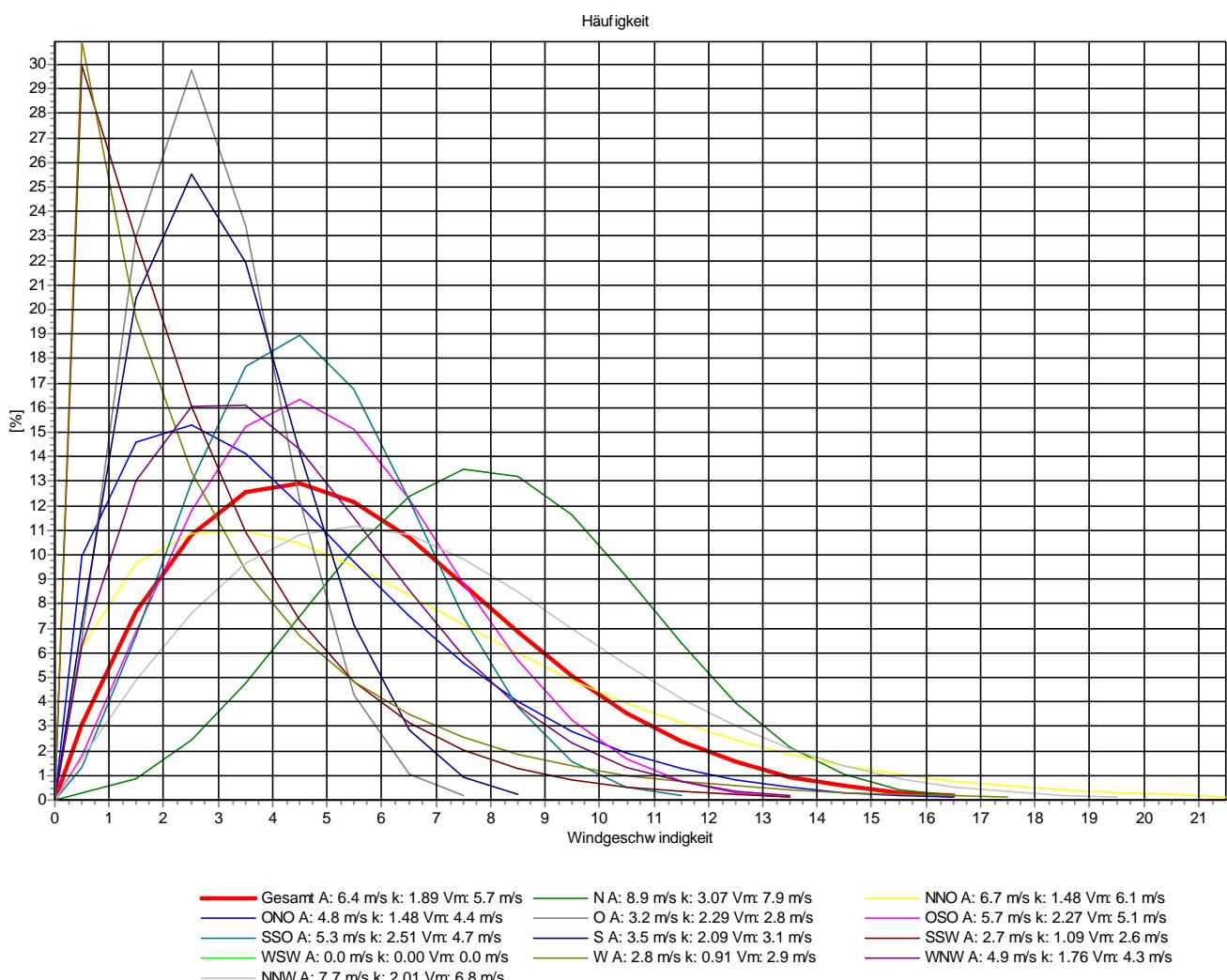
METEO-Daten-Bericht, Höhe: 17.0

Name des METEO-Objektes: 2 Juni 02 - 18 Juni 02

Weibull-Daten

k-Parameter Korrekturwert: 0.0080/m

Sektor	A-Parameter	Mittlere Windgeschwindigkeit	k-Parameter	Häufigkeit	Häufigkeit	Windgradient
	[m/s]	[m/s]			[%]	
0-N	8.86	7.92	3.073	4.25	4.3	0.05
1-NNO	6.72	6.08	1.480	0.13	0.1	0.03
2-ONO	4.83	4.37	1.483	0.07	0.1	-0.03
3-O	3.17	2.81	2.290	0.12	0.1	0.02
4-OSO	5.74	5.09	2.268	5.70	5.7	0.02
5-SSO	5.32	4.72	2.509	35.33	35.5	0.00
6-S	3.46	3.06	2.088	4.01	4.0	0.00
7-SSW	2.66	2.57	1.094	0.60	0.6	-0.03
8-WSW	0.00	0.00	0.000	0.51	0.5	0.00
9-W	2.78	2.90	0.914	0.68	0.7	0.00
10-WNW	4.86	4.33	1.763	5.44	5.5	0.01
11-NNW	7.69	6.81	2.006	43.15	43.4	0.04
Mittel	6.39	5.67	1.886	99.49	100.0	0.00



Projekt:

20372: Windparkprojekt Gotthard, Schweiz

Beschreibung:

Daten aus Datei(en)

G:\Windddaten\Schweiz\Gotthard\Schlussbericht Meteotest\daten\gott_voll_ohne_999.dat

Ausdruck/Seite

28.10.2002 15:50 / 1

Lizenziert Anwender:

NEK Umwelttechnik AG

Clausiusstrasse 41

CH-8033 Zürich

+41 1 261 07 07

Berechnet:

28.10.2002 15:50/

METEO-Daten-Bericht, Höhe: 30.0

Name des METEO-Objektes: 2 Juni 02 - 18 Juni 02

Datenanfang: 01.12.2000 08:00 Datenende: 09.8.2002 09:40 Meßwerte: 85041 Meßwerte pro Tag: 144 Verfügbarkeit: 96%

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	08.02	09.02
1	(96)	144	(0)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(0)	144	144	144	144	144	144	144	144
2	144	144	(0)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(143)	144	144	144	144	144	144	144	144
3	144	144	(143)	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	144	144
5	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
6	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(143)	144	144	144	144	144	144	144	144
7	144	144	144	144	144	144	(64)	144	144	144	144	144	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	144	144	144	144
9	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(59)
10	144	144	144	144	144	(143)	144	(103)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
11	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
12	144	144	144	144	144	(143)	144	144	144	144	144	144	144	(124)	144	144	144	144	144	144	144	144
13	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(1)	144	144	144	144	144	144	144	144
14	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(0)	144	144	144	144	144	144	144	144
15	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(0)	144	144	144	144	144	144	144	144
16	144	(1)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(143)	144	144	144	144	144	144	144	144
17	144	(0)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
18	144	(143)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
19	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(139)	144	144	144	144	144	144	144	144
20	144	(1)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(0)	144	144	144	144	144	144	144	144
21	144	(0)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(77)	144	144	(1)	144	144	144	144	144
22	144	(143)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(143)	144	144	(1)	144	144	144	144	144
23	144	144	144	144	144	144	144	(142)	144	144	144	144	144	(1)	144	(143)	144	144	144	144	144	144
24	144	144	(1)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(0)	144	144	144	144	144	144	144	144
25	144	144	(0)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(143)	144	144	144	144	144	144	144	144
26	144	144	(0)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
27	144	(1)	(0)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(1)	144	144	144	144	144	144	144	144
28	144	(0)	(143)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(143)	144	144	144	144	144	144	144	144
29	144	(143)	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	144	144	144	144
31	144	(1)	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	(1)	144	144	144	144	144	144	144	144
%	100	(77)	(79)	100	100	(98)	100	(99)	100	(95)	(100)	100	(74)	(97)	(96)	100	100	100	100	(27)	(0)	

Projekt:

20372: Windparkprojekt Gotthard, Schweiz

Beschreibung:

Daten aus Datei(en)
G:\Winddaten\Schweiz\Gotthard\Schlussbericht
Meteotest\daten\gott_voll_ohne_999.dat

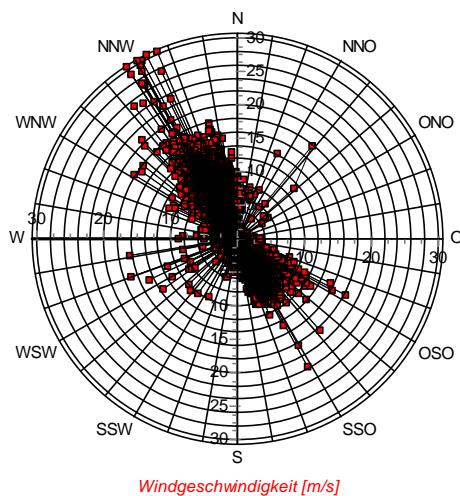
Ausdruck/Seite:

28.10.2002 15:50 / 2

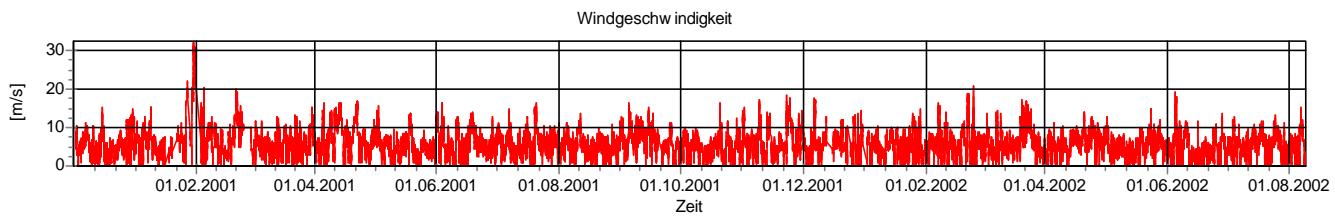
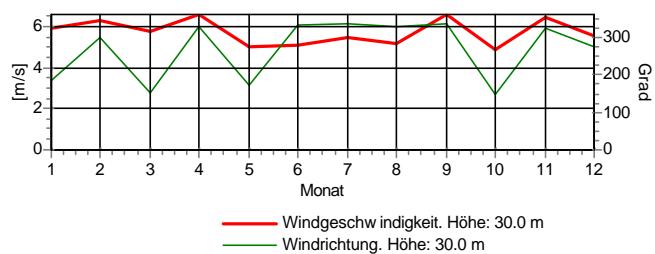
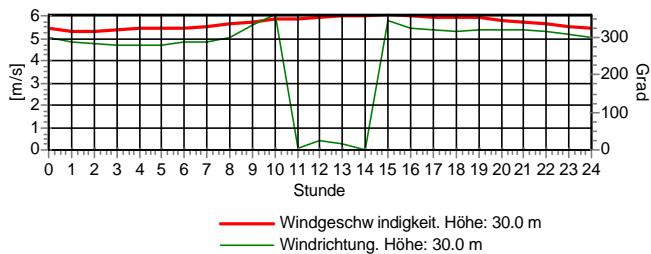
Lizenziert Anwender:

NEK Umwelttechnik AG
Clausiusstrasse 41
CH-8033 Zürich
+41 1 261 07 07Berechnet:
28.10.2002 15:50/**METEO-Daten-Bericht, Höhe: 30.0**

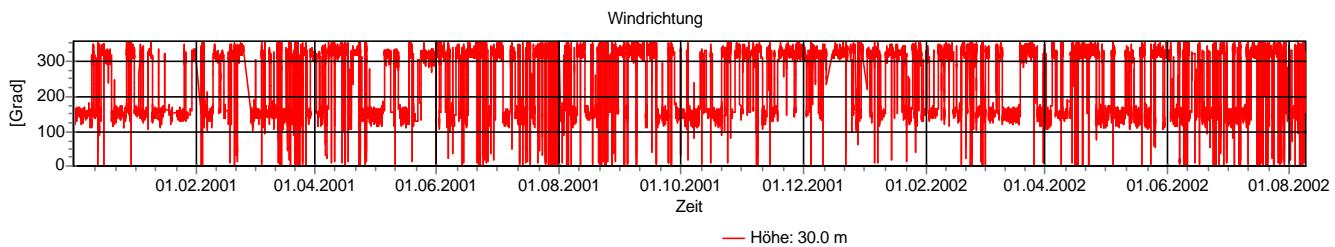
Name des METEO-Objektes: 2 Juni 02 - 18 Juni 02

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

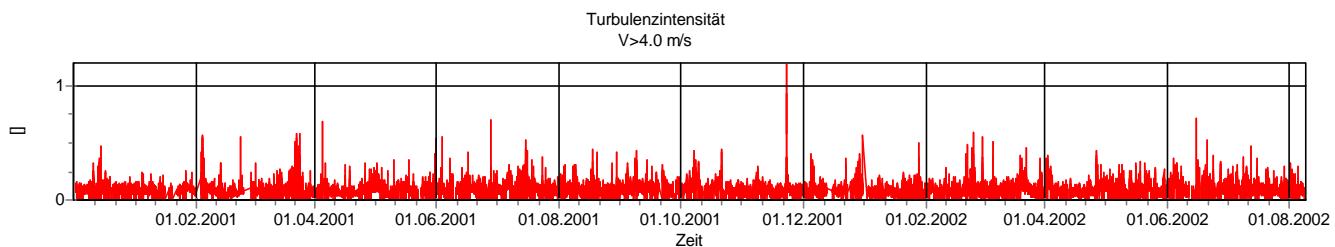
Monat	2000	2001	2002	Mittel
Jan	6.8	5.2	5.9	
Feb	6.9	5.8	6.3	
Mär	5.6	6.1	5.8	
Apr	7.3	5.9	6.6	
Mai	4.8	5.3	5.0	
Jun	5.9	4.5	5.2	
Jul	5.8	5.3	5.5	
Aug	5.2	5.4	5.2	
Sep	6.6		6.6	
Okt		4.9	4.9	
Nov		6.5	6.5	
Dez	5.3	5.9	5.6	
Mittel	5.3	6.0	5.4	5.7



Höhe: 30.0 m



Höhe: 30.0 m



Projekt:

20372: Windparkprojekt Gotthard, Schweiz

Beschreibung:

Daten aus Datei(en)
G:\Winddaten\Schweiz\Gotthard\Schlussbericht
Meteotest\daten\gott_voll_ohne_999.dat

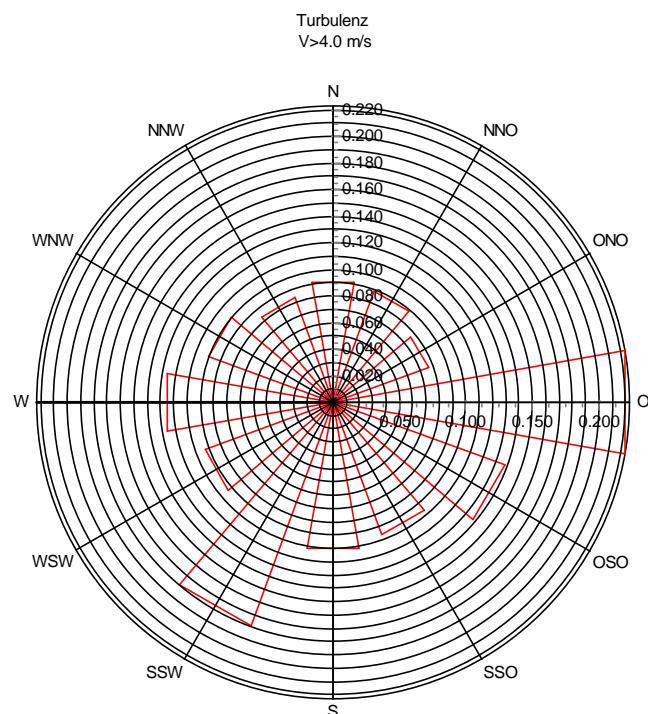
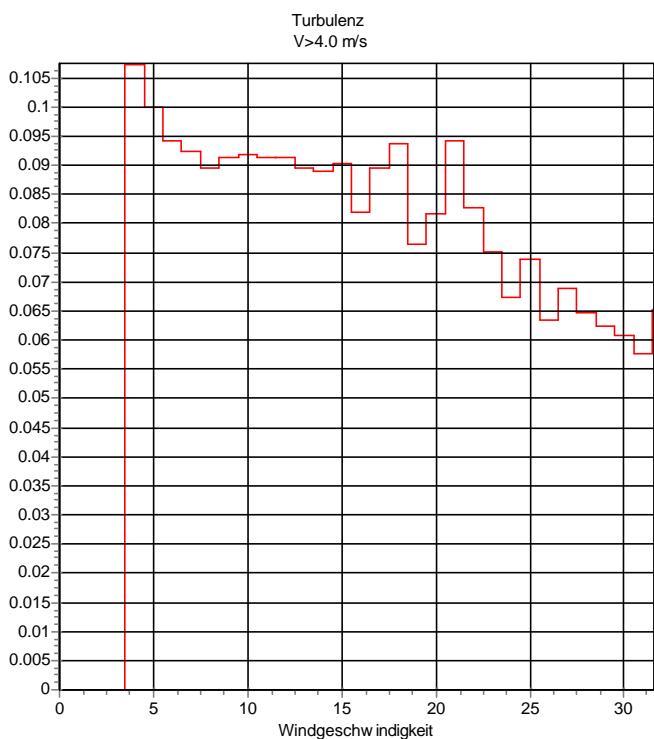
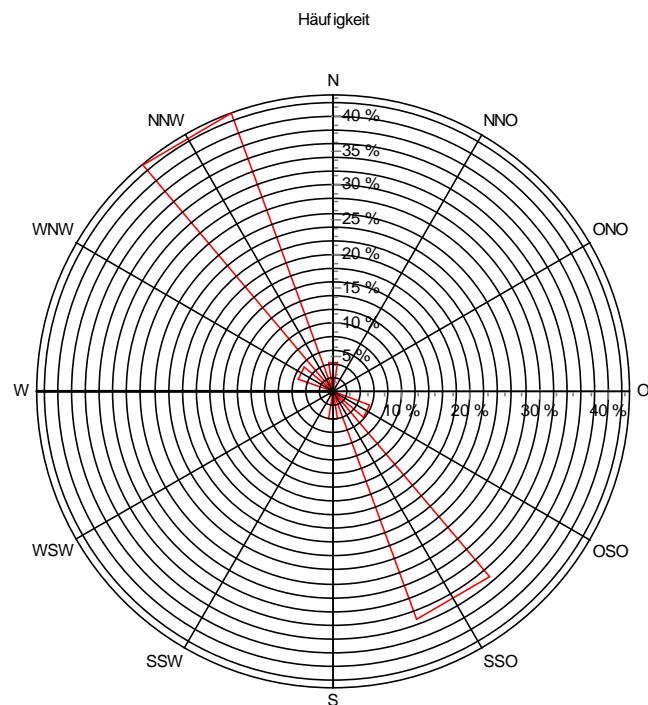
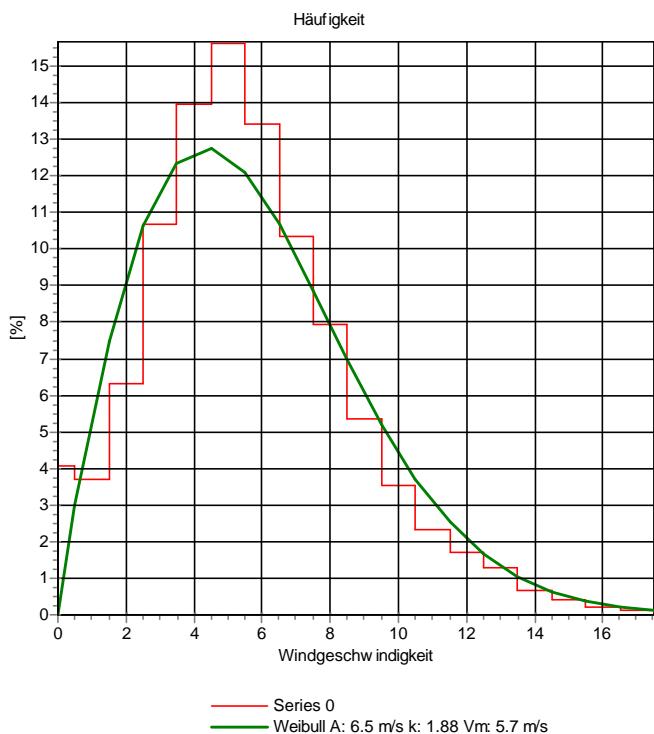
Ausdruck/Seite:

28.10.2002 15:50 / 3

Lizenziert Anwender:

NEK Umwelttechnik AG
Clausiusstrasse 41
CH-8033 Zürich
+41 1 261 07 07Berechnet:
28.10.2002 15:50/**METEO-Daten-Bericht, Höhe: 30.0**

Name des METEO-Objektes: 2 Juni 02 - 18 Juni 02



Projekt:

20372: Windparkprojekt Gotthard, Schweiz

Beschreibung:

Daten aus Datei(en)
G:\Winddaten\Schweiz\Gotthard\Schlussbericht
Meteotest\daten\gott_voll_ohne_999.dat

Ausdruck/Seite:

28.10.2002 15:50 / 4

Lizenziert Anwender:

NEK Umwelttechnik AG
Clausiusstrasse 41
CH-8033 Zürich
+41 1 261 07 07Berechnet:
28.10.2002 15:50/**METEO-Daten-Bericht, Höhe: 30.0**

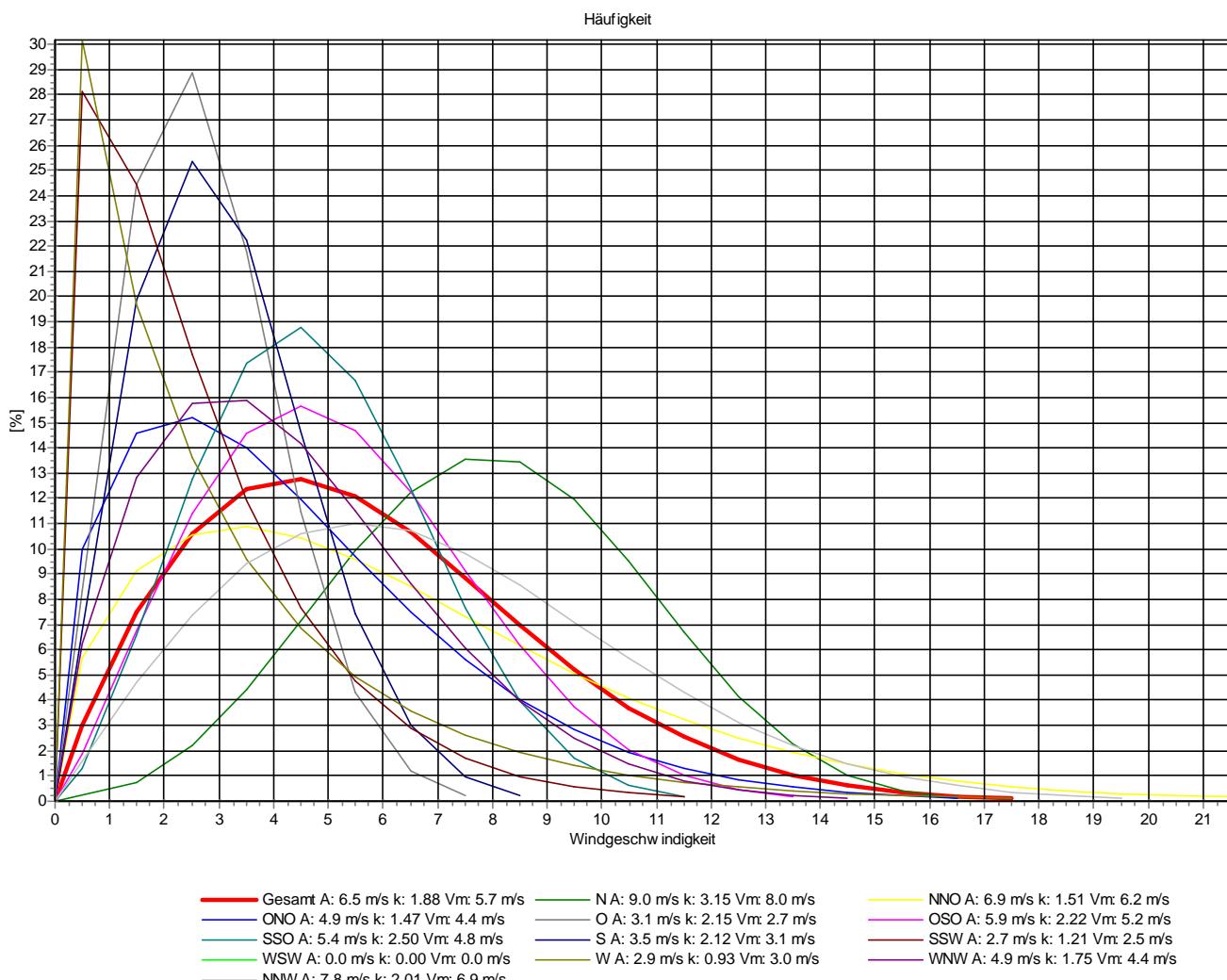
Name des METEO-Objektes: 2 Juni 02 - 18 Juni 02

Weibull-Daten

k-Parameter Korrekturwert: 0.0080/m

Sektor A-Parameter Mittlere Windgeschwindigkeit k-Parameter Häufigkeit Häufigkeit Windgradient

	[m/s]	[m/s]			[%]	
0-N	8.96	8.02	3.146	4.25	4.3	0.02
1-NNO	6.87	6.19	1.510	0.13	0.1	0.03
2-ONO	4.86	4.39	1.474	0.07	0.1	0.01
3-O	3.10	2.74	2.150	0.12	0.1	-0.04
4-OSO	5.89	5.22	2.220	5.70	5.7	0.05
5-SSO	5.37	4.77	2.498	35.33	35.5	0.02
6-S	3.51	3.10	2.115	4.01	4.0	0.02
7-SSW	2.66	2.49	1.206	0.60	0.6	-0.05
8-WSW	0.00	0.00	0.000	0.51	0.5	0.00
9-W	2.86	2.95	0.931	0.68	0.7	0.03
10-WNW	4.93	4.39	1.754	5.44	5.5	0.02
11-NNW	7.80	6.91	2.009	43.15	43.4	0.03
Mittel	6.48	5.75	1.884	99.49	100.0	0.00





13.3 WINDPRO-AUSWERTUNGEN 10 M MESSMAST DAMM UND SELLA

Projekt:

20372: Windparkprojekt Gotthard, Schweiz

Beschreibung:

Daten aus Datei(en)
G:\Windddaten\Schweiz\Gotthard\10m Damm\15210605_mod.N02

Ausdruck/Seite

28.10.2002 16:01 / 1

Lizenziert Anwender:

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

Berechnet:

28.10.2002 16:01/

METEO-Daten-Bericht, Höhe: 10.0

Name des METEO-Objektes: 2 Juni 02 - 18 Juni 02

Datenanfang: 05.6.2002 16:50 Datenende: 18.6.2002 14:00 Meßwerte: 1856 Meßwerte pro Tag: 144 Verfügbarkeit: 100%

Tag 06.02 07.02

1	
2	
3	
4	
5	(43)
6	144
7	144
8	144
9	144
10	144
11	144
12	144
13	144
14	144
15	144
16	144
17	144
18	(85)
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
%	(51) (0)

Projekt:

20372: Windparkprojekt Gotthard, Schweiz

Beschreibung:

Daten aus Datei(en)
G:\Winddaten\Schweiz\Gotthard\10m
Damm\15210605_mod.N02

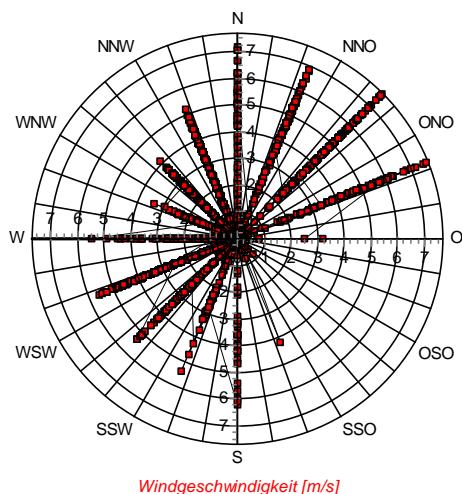
Ausdruck/Seite:

28.10.2002 16:01 / 2

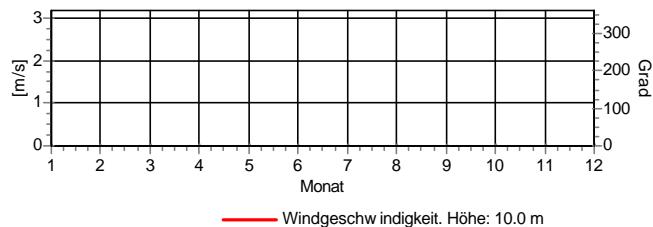
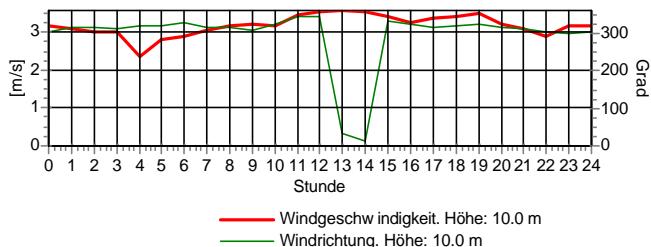
Lizenziert Anwender:

NEK Umwelttechnik AG
Clausiusstrasse 41
CH-8033 Zürich
+41 1 261 07 07Berechnet:
28.10.2002 16:01/**METEO-Daten-Bericht, Höhe: 10.0**

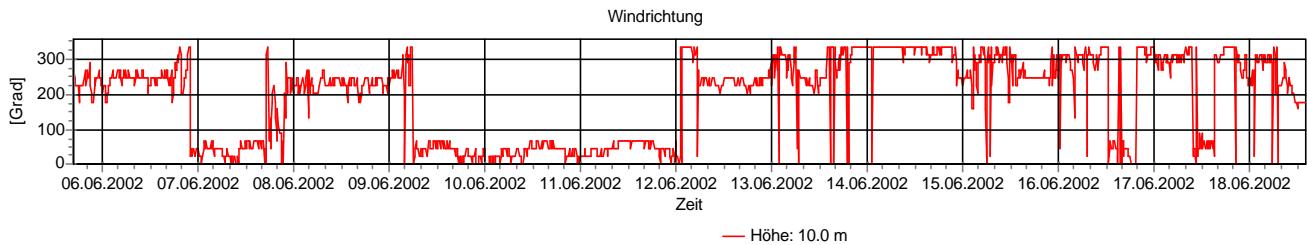
Name des METEO-Objektes: 2 Juni 02 - 18 Juni 02

**Monatliche Mittelwerte der Windgeschwindigkeit in m/s****Monat 2002 Mittel**

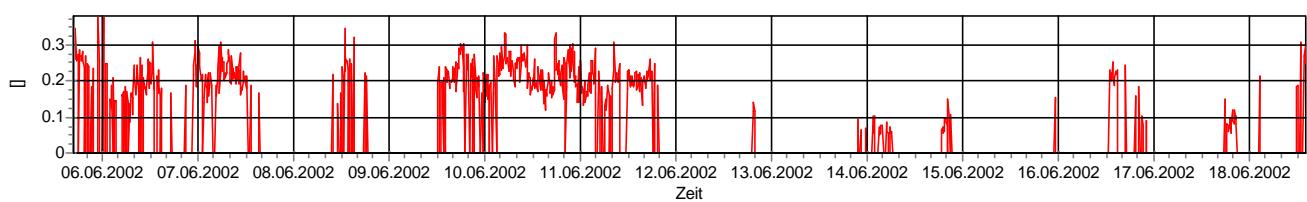
Jan	3.2	3.2
Feb		
Mär		
Apr		
Mai		
Jun	3.2	3.2
Jul		
Aug		
Sep		
Okt		
Nov		
Dez		
Mittel	3.2	3.2



Windgeschwindigkeit



Windrichtung



Projekt:

20372: Windparkprojekt Gotthard, Schweiz

Beschreibung:

Daten aus Datei(en)
G:\Winddaten\Schweiz\Gotthard\10m
Damm\15210605_mod.N02

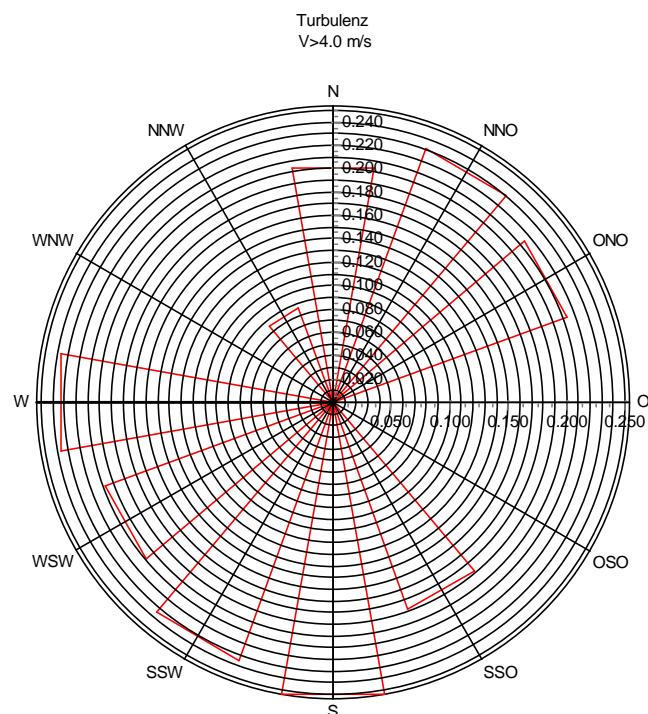
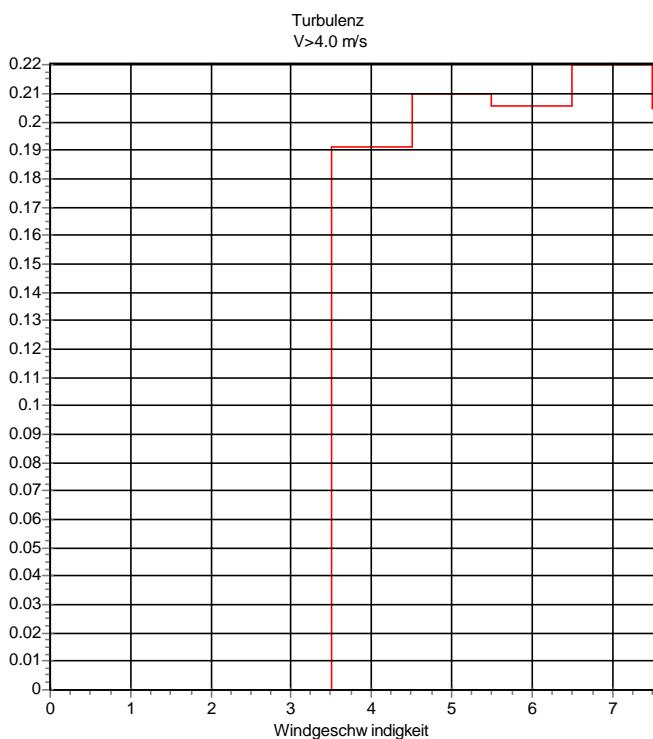
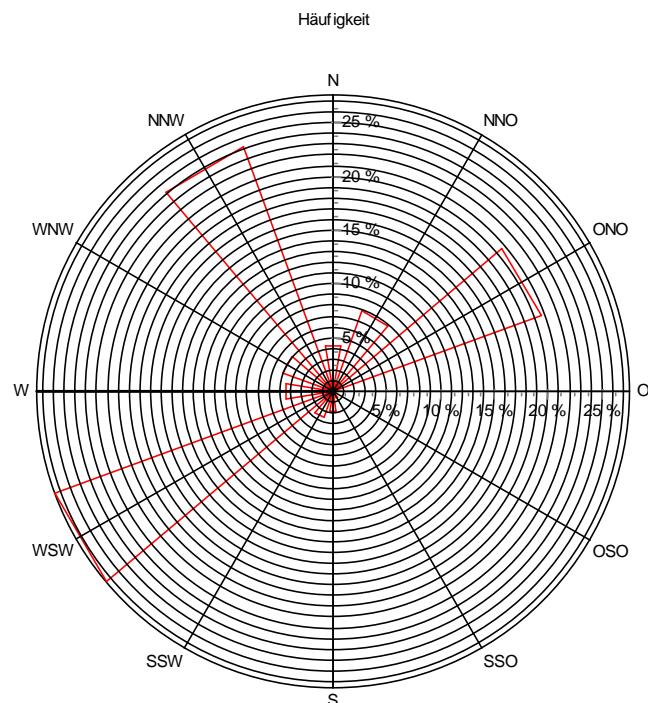
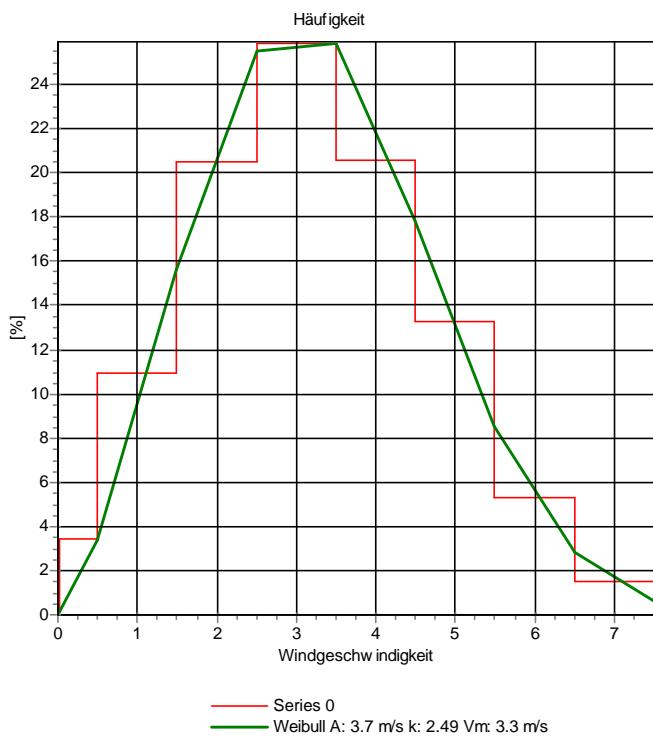
Ausdruck/Seite:

28.10.2002 16:01 / 3

Lizenziert Anwender:

NEK Umwelttechnik AG
Clausiusstrasse 41
CH-8033 Zürich
+41 1 261 07 07Berechnet:
28.10.2002 16:01**METEO-Daten-Bericht, Höhe: 10.0**

Name des METEO-Objektes: 2 Juni 02 - 18 Juni 02



Projekt:

20372: Windparkprojekt Gotthard, Schweiz

Beschreibung:

Daten aus Datei(en)
G:\Winddaten\Schweiz\Gotthard\10m
Damm\15210605_mod.N02

Ausdruck/Seite:

28.10.2002 16:01 / 4

Lizenziert Anwender:

NEK Umwelttechnik AG
Clausiusstrasse 41
CH-8033 Zürich
+41 1 261 07 07Berechnet:
28.10.2002 16:01**METEO-Daten-Bericht, Höhe: 10.0**

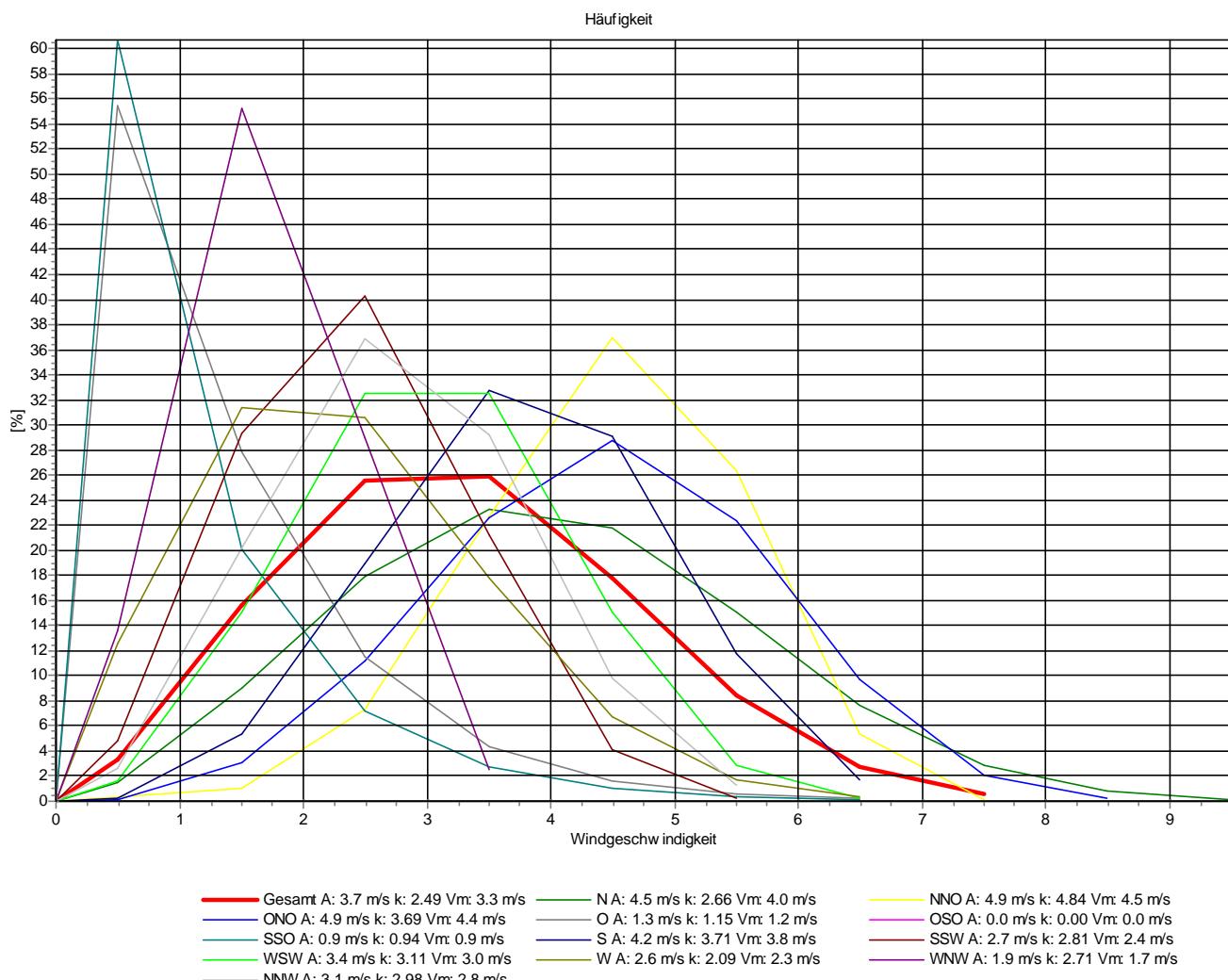
Name des METEO-Objektes: 2 Juni 02 - 18 Juni 02

Weibull-Daten

k-Parameter Korrekturwert: 0.0080/m

Sektor	A-Parameter	Mittlere Windgeschwindigkeit	k-Parameter	Häufigkeit	Häufigkeit	Windgradient
	[m/s]	[m/s]		[%]		

0-N	4.51		4.01	2.664	4.36	4.4	0.03
1-NNO	4.88		4.47	4.839	8.03	8.0	0.05
2-ONO	4.92		4.44	3.692	20.58	20.6	0.00
3-O	1.28		1.22	1.153	0.38	0.4	0.00
4-OSO	0.00		0.00	0.000	0.22	0.2	-0.01
5-SSO	0.90		0.93	0.939	0.65	0.6	-0.06
6-S	4.18		3.77	3.714	1.89	1.9	-0.08
7-SSW	2.71		2.42	2.807	2.59	2.6	-0.05
8-WSW	3.40		3.04	3.113	27.59	27.6	-0.14
9-W	2.64		2.34	2.090	4.47	4.5	0.01
10-WNW	1.93		1.71	2.713	5.01	5.0	0.06
11-NNW	3.11		2.78	2.976	24.25	24.3	0.03
Mittel	3.72		3.30	2.487	99.78	100.0	0.00



Projekt:

20372: Windparkprojekt Gotthard, Schweiz

Beschreibung:

Daten aus Datei(en)
 G:\Winddaten\Schweiz\Gotthard\10m_Sella\15210709.N02
 G:\Winddaten\Schweiz\Gotthard\10m_Sella\15210902_mod.N02

Ausdruck/Seite

28.10.2002 16:06 / 1

Lizenziert Anwender:

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

Berechnet:

28.10.2002 16:06/

METEO-Daten-Bericht, Höhe: 10.0

Name des METEO-Objektes: 9 Juli 02 - 9 Aug 02

Datenanfang: 09.7.2002 15:30 Datenende: 25.9.2002 19:30 Meßwerte: 11257 Meßwerte pro Tag: 144 Verfügbarkeit: 100%

Tag	07.02	08.02	09.02	10.02
1	144	144		
2	144	144		
3	144	144		
4	144	144		
5	144	144		
6	144	144		
7	144	144		
8	144	144		
9	(51)	144	144	
10	144	144	144	
11	144	144	144	
12	144	144	144	
13	144	144	144	
14	144	144	144	
15	144	144	144	
16	144	144	144	
17	144	144	144	
18	144	144	144	
19	144	144	144	
20	144	144	144	
21	144	144	144	
22	144	144	144	
23	144	144	144	
24	144	144	144	
25	144	144	(118)	
26	144	144		
27	144	144		
28	144	144		
29	144	144		
30	144	144		
31	144	144		
%	100	100	(83)	(0)

Projekt:

20372: Windparkprojekt Gotthard, Schweiz

Beschreibung:

Daten aus Datei(en)
 G:\Winddaten\Schweiz\Gotthard\10m_Sella\15210709.
 N02
 G:\Winddaten\Schweiz\Gotthard\10m_Sella\15210902_
 mod.N02

Ausdruck/Seite:

28.10.2002 16:06 / 2

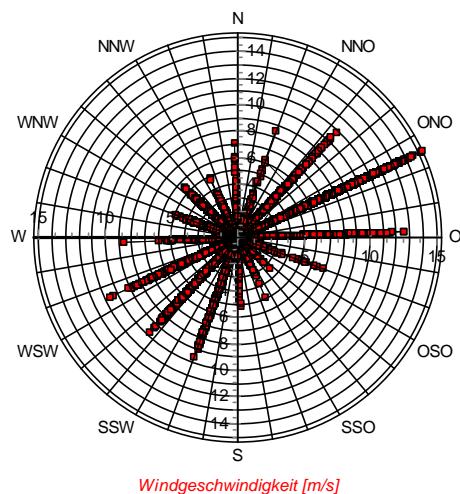
Lizenziert Anwender:

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

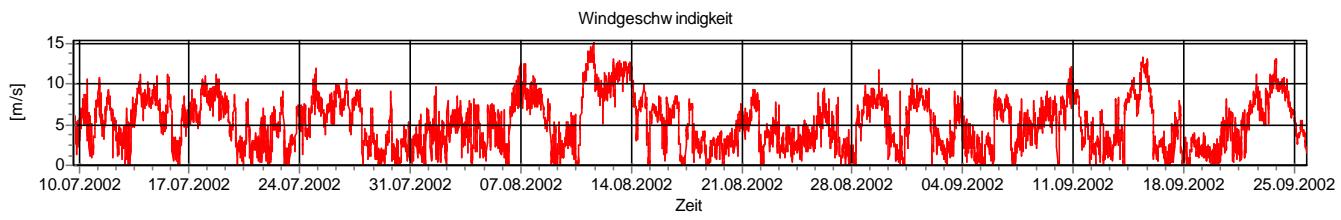
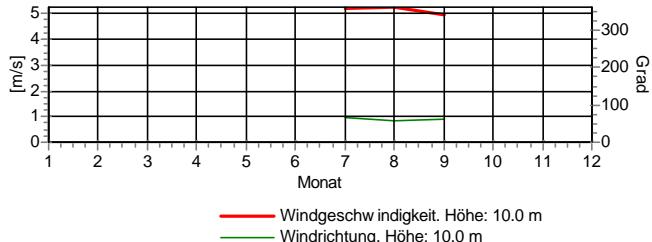
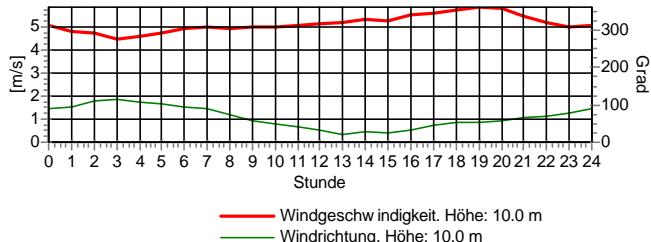
Berechnet:
 28.10.2002 16:06/

METEO-Daten-Bericht, Höhe: 10.0

Name des METEO-Objektes: 9 Juli 02 - 9 Aug 02

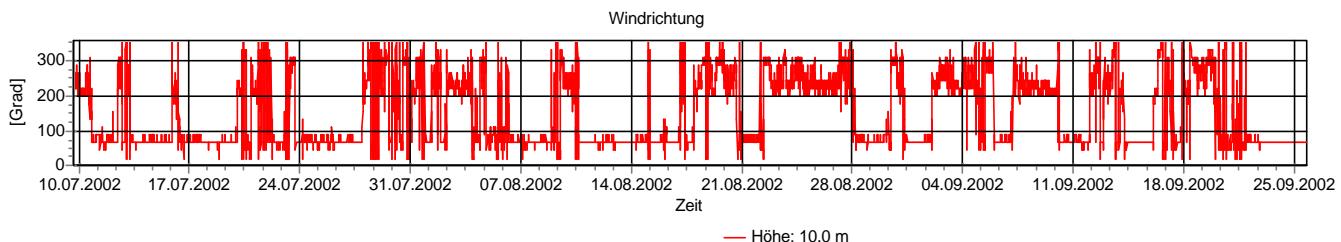
**Monatliche Mittelwerte der Windgeschwindigkeit in m/s****Monat 2002 Mittel**

Jan	5.2	5.2
Feb	5.3	5.3
Mär	4.9	4.9
Apr		
Mai		
Jun		
Jul	5.2	5.2
Aug	5.3	5.3
Sep	4.9	4.9
Okt		
Nov		
Dez		
Mittel	5.1	5.1



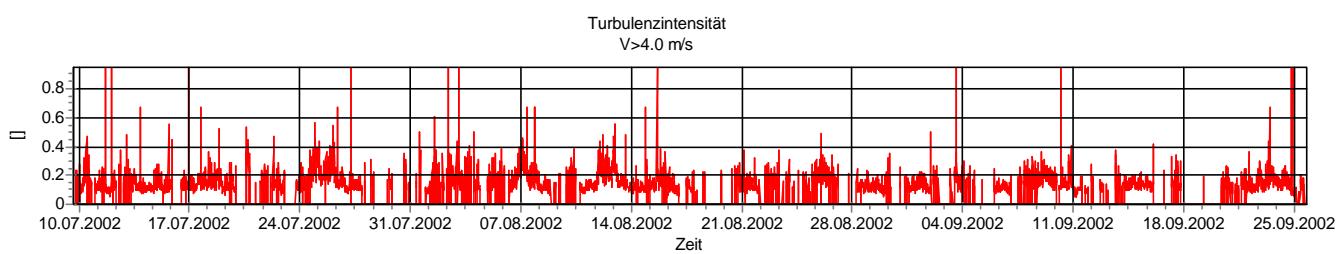
Windgeschwindigkeit

— Höhe: 10.0 m



Windrichtung

— Höhe: 10.0 m

Turbulenzintensität
V>4.0 m/s

Projekt:

20372: Windparkprojekt Gotthard, Schweiz

Beschreibung:

Daten aus Datei(en)
 G:\Winddaten\Schweiz\Gotthard\10m_Sella\15210709.
 N02
 G:\Winddaten\Schweiz\Gotthard\10m_Sella\15210902_
 mod.N02

Ausdruck/Seite:

28.10.2002 16:06 / 3

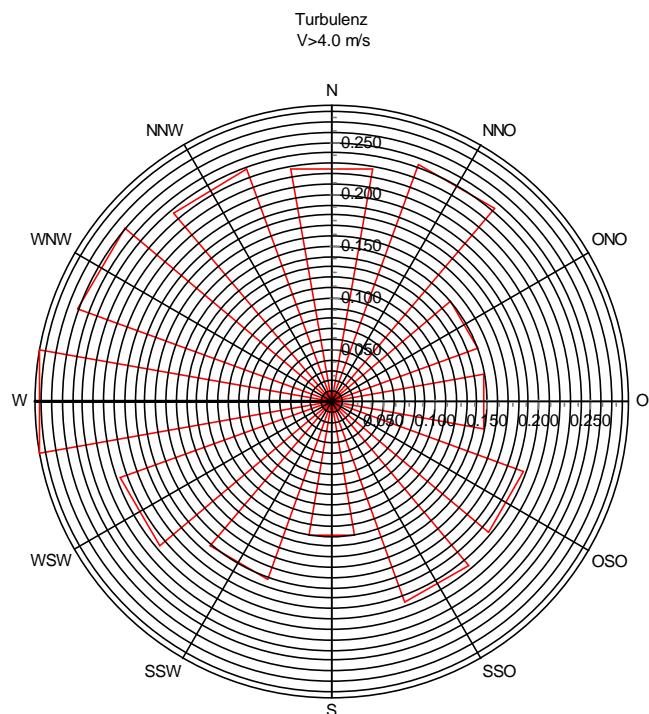
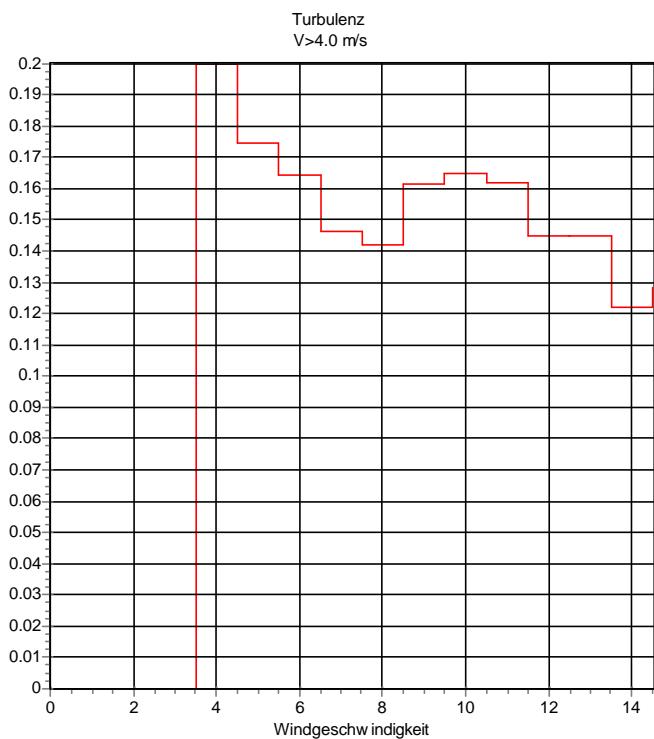
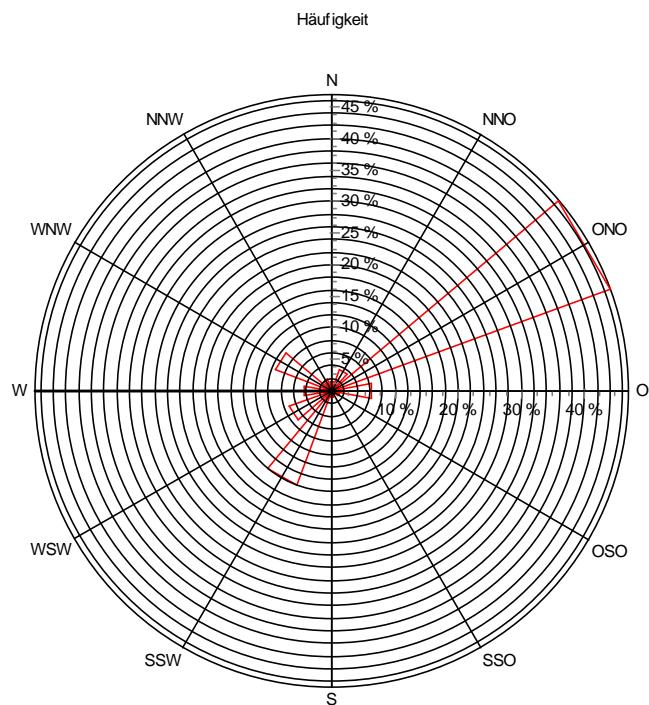
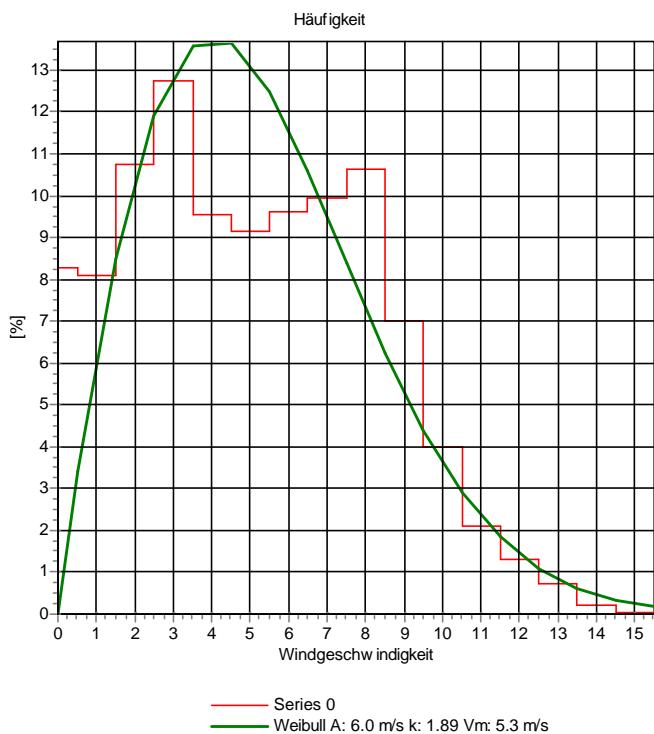
Lizenziert Anwender:

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

Berechnet:
 28.10.2002 16:06/

METEO-Daten-Bericht, Höhe: 10.0

Name des METEO-Objektes: 9 Juli 02 - 9 Aug 02



Projekt:

20372: Windparkprojekt Gotthard, Schweiz

Beschreibung:

Daten aus Datei(en)
 G:\Winddaten\Schweiz\Gotthard\10m_Sella\15210709.
 N02
 G:\Winddaten\Schweiz\Gotthard\10m_Sella\15210902_.
 mod.N02

Ausdruck/Seite:

28.10.2002 16:06 / 4

Lizenziert Anwender:

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

Berechnet:
 28.10.2002 16:06/

METEO-Daten-Bericht, Höhe: 10.0

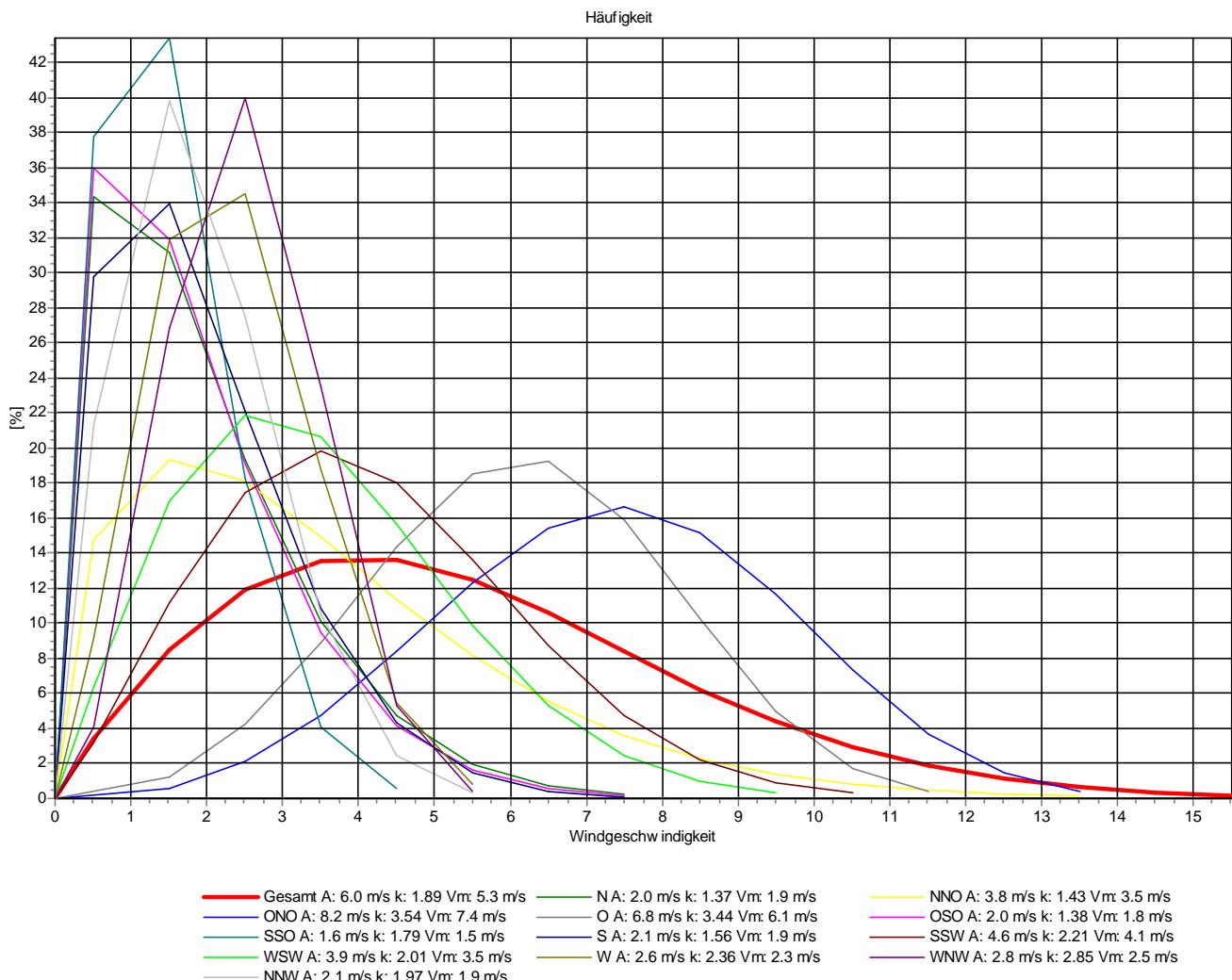
Name des METEO-Objektes: 9 Juli 02 - 9 Aug 02

Weibull-Daten

k-Parameter Korrekturwert: 0.0080/m

Sektor	A-Parameter	Mittlere Windgeschwindigkeit	k-Parameter	Häufigkeit	Häufigkeit	Windgradient
	[m/s]	[m/s]			[%]	

0-N	2.04		1.87	1.373	1.50	1.5	0.04
1-NNO	3.81		3.46	1.432	3.56	3.6	0.05
2-ONO	8.19		7.38	3.540	46.93	46.9	0.00
3-O	6.82		6.13	3.445	6.43	6.4	0.00
4-OSO	1.96		1.79	1.382	1.21	1.2	0.06
5-SSO	1.64		1.46	1.792	0.66	0.7	0.02
6-S	2.11		1.90	1.559	0.99	1.0	0.02
7-SSW	4.64		4.11	2.211	15.87	15.9	-0.14
8-WSW	3.90		3.45	2.008	7.06	7.1	-0.12
9-W	2.64		2.34	2.361	4.32	4.3	-0.05
10-WNW	2.81		2.50	2.854	9.51	9.5	0.02
11-NNW	2.13		1.89	1.970	1.95	1.9	0.05
Mittel	6.01		5.33	1.893	100.00	100.0	0.00





13.4 ALWIN-AUSWERTUNGEN DER ERGÄNZUNGSSTATION WAGENHEBER

N

for Windows

Standort: Gotthard

WKA:

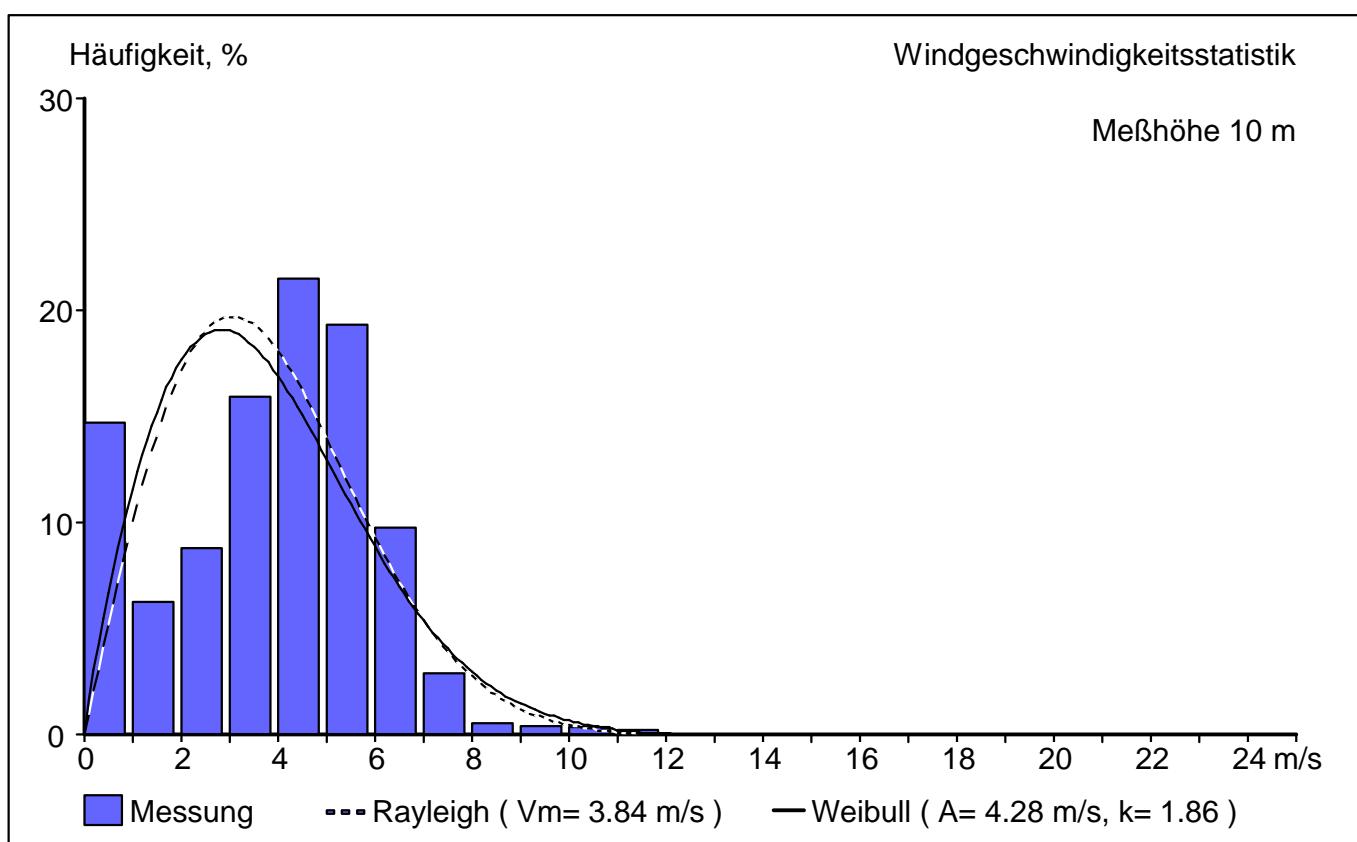
Zeit: 15.08.01

Alwin for Windows V 2.1b / FREE VERSION

Datei: ALL01~7-.ALW, gedruckt am 28. Oct. 2002

Standort:
Gotthard
Meßbeginn: 15.08.01

Höhe ü. NN: 1960 m
Temperatur: 3.2 °C
Messungen: 62 Tage (90048 à 1 min.)

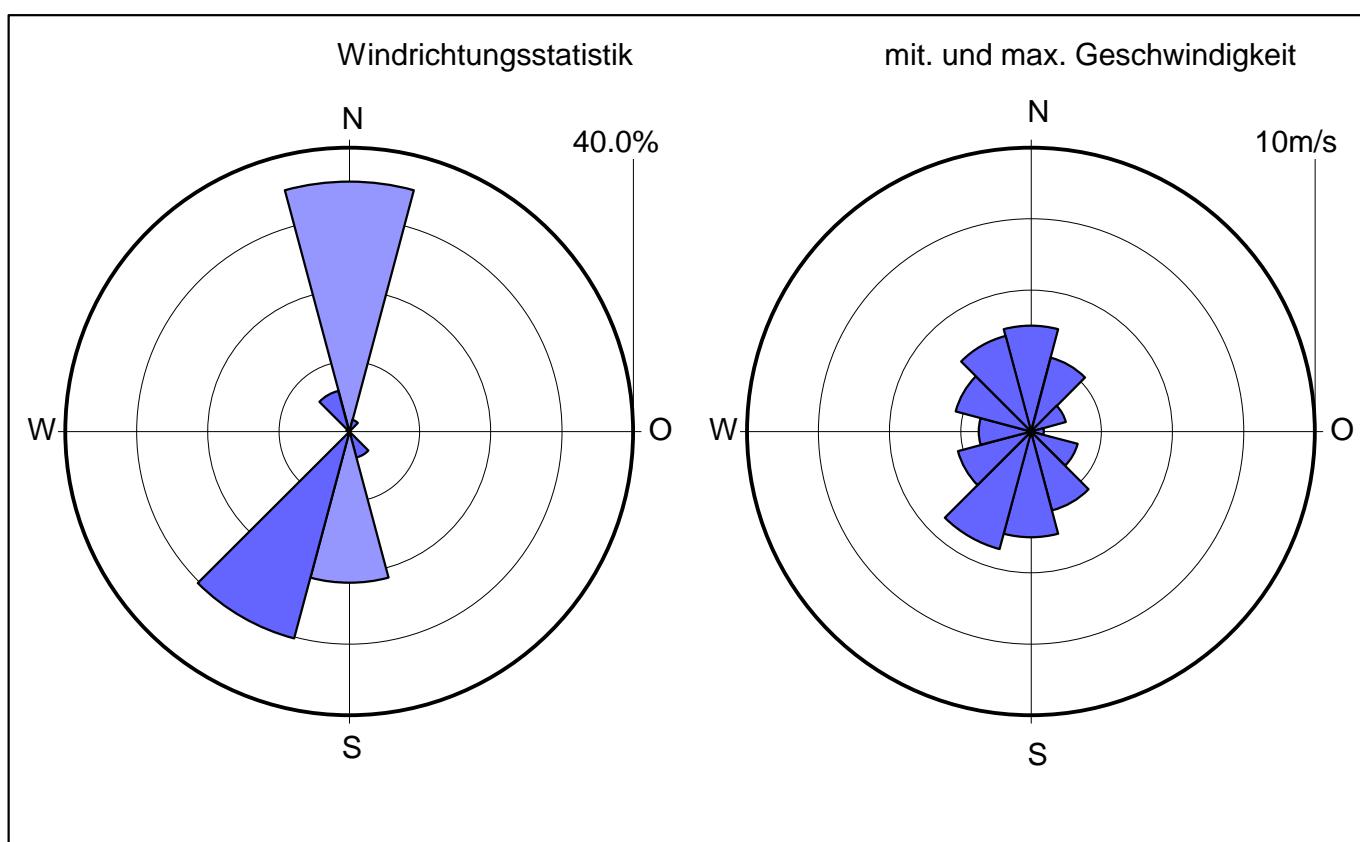


Verteilung der Windgeschwindigkeit 10.0 m

V, m/s	F(mess), %	F(ray), %	F(wei), %
0- 1:	14.68	5.19	6.47
1- 2:	6.18	14.00	15.09
2- 3:	8.75	18.89	18.77
3- 4:	15.86	19.27	18.26
4- 5:	21.46	16.24	15.10
5- 6:	19.27	11.71	10.96
6- 7:	9.69	7.34	7.11
7- 8:	2.85	4.05	4.16
8- 9:	0.47	1.97	2.21
9-10:	0.34	0.85	1.07
10-11:	0.31	0.33	0.48
11-12:	0.15	0.11	0.20
12-13:	0.00	0.03	0.07
13-14:	0.00	0.01	0.03
14-15:	0.00	0.00	0.01
15-16:	0.00	0.00	0.00
16-17:	0.00	0.00	0.00
17-18:	0.00	0.00	0.00
18-19:	0.00	0.00	0.00
19-20:	0.00	0.00	0.00
20-21:	0.00	0.00	0.00
21-22:	0.00	0.00	0.00
22-23:	0.00	0.00	0.00
23-24:	0.00	0.00	0.00
24-25:	0.00	0.00	0.00

Standort:
Gotthard
Meßbeginn: 15.08.01

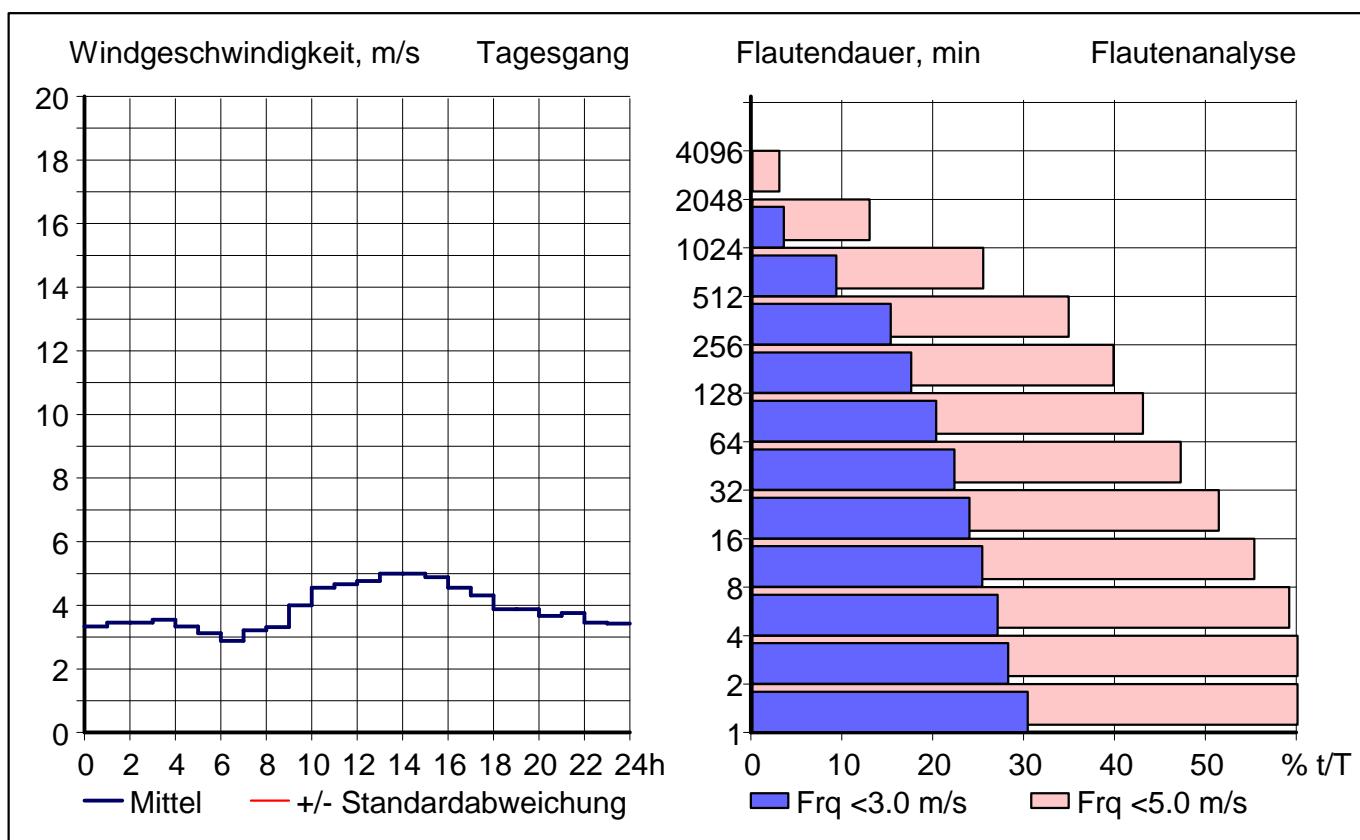
Höhe ü. NN: 1960 m
Temperatur: 3.2 °C
Messungen: 62 Tage (90048 à 1 min.)



Sektor, °	Frq, %	Mit, m/s	Max, m/s
345- 15:	35.3	3.8	0.0
15- 45:	1.7	2.7	0.0
45- 75:	0.3	1.3	0.0
75-105:	0.1	0.5	0.0
105-135:	0.2	1.7	0.0
135-165:	3.9	2.9	0.0
165-195:	21.4	3.7	0.0
195-225:	30.3	4.3	0.0
225-255:	0.2	2.7	0.0
255-285:	0.1	1.9	0.0
285-315:	0.4	2.8	0.0
315-345:	6.0	3.5	0.0

Standort:
Gotthard
 Meßbeginn: 15.08.01

Höhe ü. NN: 1960 m
 Temperatur: 3.2 °C
 Messungen: 62 Tage (90048 à 1 min.)



Tagesgang

Zeit, h	Mit, m/s	Std. Abw., m/s
0- 1:	3.3	0.0
1- 2:	3.5	0.0
2- 3:	3.5	0.0
3- 4:	3.6	0.0
4- 5:	3.3	0.0
5- 6:	3.1	0.0
6- 7:	2.9	0.0
7- 8:	3.2	0.0
8- 9:	3.3	0.0
9-10:	4.0	0.0
10-11:	4.6	0.0
11-12:	4.7	0.0
12-13:	4.8	0.0
13-14:	5.0	0.0
14-15:	5.0	0.0
15-16:	4.9	0.0
16-17:	4.6	0.0
17-18:	4.3	0.0
18-19:	3.9	0.0
19-20:	3.9	0.0
20-21:	3.7	0.0
21-22:	3.8	0.0
22-23:	3.5	0.0
23-24:	3.5	0.0

Flautenanalyse

	Flauten, min	t/T(<3.0), %	t/T(<5.0), %
>= 1	30.4	66.3	
>= 2	28.2	62.0	
>= 4	27.0	59.2	
>= 8	25.4	55.3	
>= 16	24.0	51.4	
>= 32	22.3	47.2	
>= 64	20.3	43.0	
>= 128	17.5	39.8	
>= 256	15.3	34.9	
>= 512	9.3	25.4	
>= 1024	3.5	13.0	
>= 2048	0.0	3.0	
>= 4096	0.0	0.0	
Mittel, min	12		14
Maximum, min	1107		2725



13.5 WINDSTATISTIKEN

STATGEN - Überblick**Berechnung:** 15 Aug 01 - 10 Okt 01 **Datei:** G:\WindPRO Data\Projects\Schweiz\Gotthard\ 15 Aug 01 - 10 Okt 01.lib**Name**

15 Aug 01 - 10 Okt 01

Quelle

USER

Staat

Standortkoordinaten

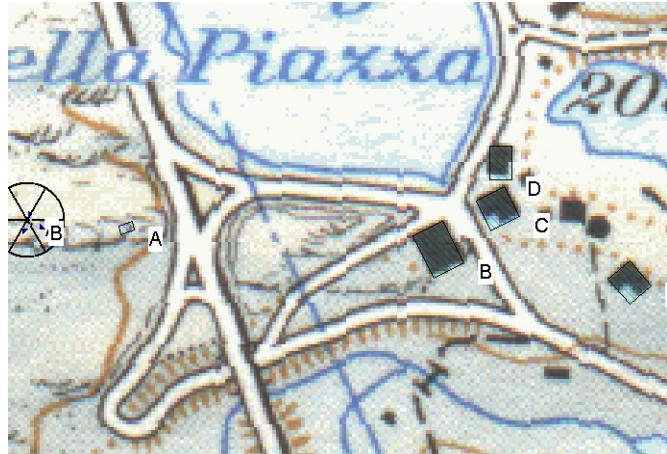
Local Ost: 686'242 Nord: 156'630

Terraindaten

Gotthard 30 m

Meteorologische Daten

15 Aug 01 - 10 Okt 01



Maßstab 1:5'000

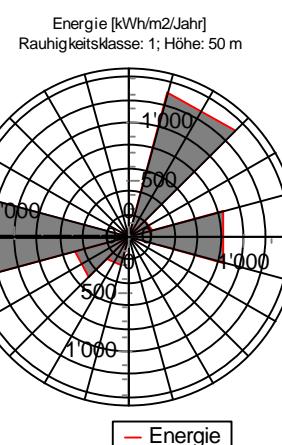
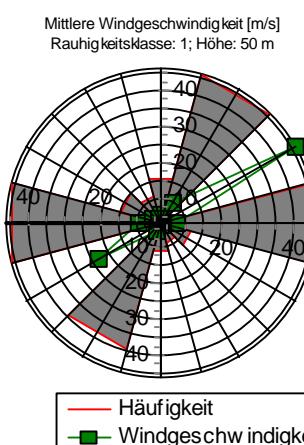
Terraindaten

Metereologische Daten

Hindernis

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	8.0	5.8	4.9	3.8
25.0	8.7	6.8	6.0	5.0
50.0	9.3	7.8	6.9	5.9
100.0	9.9	9.0	8.1	7.0
200.0	10.7	10.7	9.7	8.4

**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	6'336	2'702	1'612	880
25.0	7'885	3'743	2'636	1'749
50.0	9'237	4'851	3'699	2'693
100.0	11'138	6'662	5'248	3'968
200.0	13'932	10'743	8'500	6'159

WKA Energieproduktion [kWh/m2/Jahr]

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

Rauhigkeitsklasse/Breite				
Höhe	0	1	2	3
[m]	0.00 m	0.03 m	0.10 m	0.40 m
10.0	1'375	684	-	-
25.0	1'578	1'014	746	-
50.0	1'735	1'313	1'049	732
100.0	1'901	1'656	1'416	1'083
200.0	-	-	1'838	1'497

Rauhigkeitsklasse/Breite				
Höhe	0	1	2	3
[m]	0.00 m	0.03 m	0.10 m	0.40 m
10.0	1'532	715	-	-
25.0	1'771	1'095	786	-
50.0	1'958	1'456	1'136	769
100.0	2'157	1'864	1'581	1'176
200.0	-	-	2'081	1'676

Rauhigkeitsklasse/Breite				
Höhe	0	1	2	3
[m]	0.00 m	0.03 m	0.10 m	0.40 m
10.0	1'238	649	-	-
25.0	1'364	941	707	-
50.0	1'485	1'187	972	693
100.0	1'651	1'412	1'266	1'000
200.0	-	-	1'588	1'315

KennwerteBruttowindenergie 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 Energieproduktion

[km] [%] [%]

Aktuelle Windstatistik 147.0 128.1

Milano, 1966-75	136.8	7.4	0.0
Bolzano, 1966-75	212.3	17.9	0.0
Stuttgart, 1972-81	241.8	29.3	0.0
Lyon, 1970-79	294.0	62.2	0.0
München, 1970-79	295.5	59.8	0.0

STATGEN - Überblick

Berechnung: 2 Juni - 18 Juni 02 Datei: G:\WindPRO Data\Projects\Schweiz\Gotthard\ 2 Juni 02 - 18 Juni 02.lib

Name

2 Juni 02 - 18 Juni 02

Quelle

USER

Staat

Standortkoordinaten

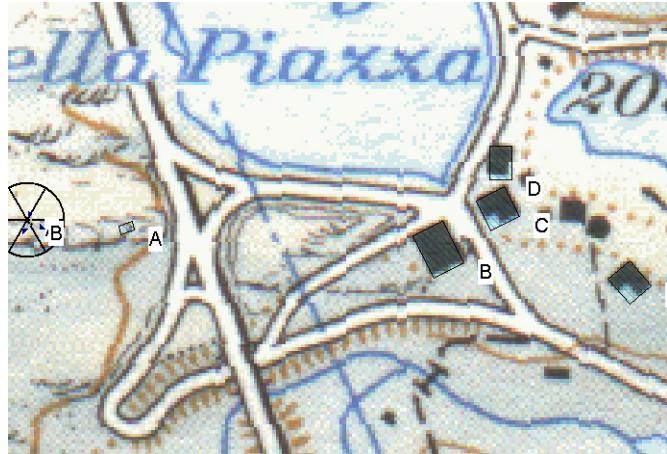
Local Ost: 686'242 Nord: 156'630

Terraindaten

Gotthard 30 m

Meteorologische Daten

2 Juni 02 - 18 Juni 02



Maßstab 1:5'000

Terraindaten

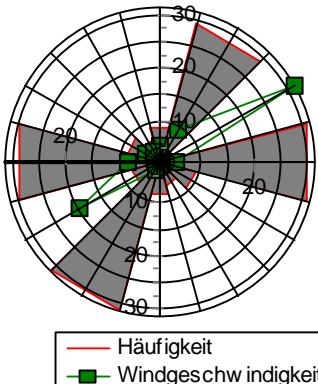
Metereologische Dat Hindernis

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

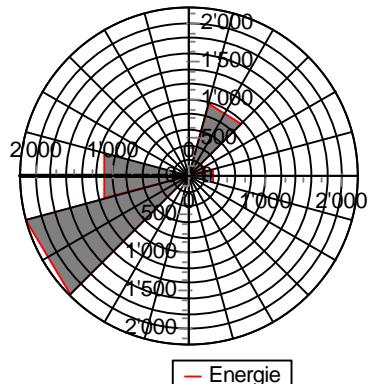
Höhe	0	1	2	3
[m]	0.00 m	0.03 m	0.10 m	0.40 m
10.0	6.5	4.8	4.1	3.2
25.0	7.1	5.6	5.0	4.2
50.0	7.6	6.4	5.8	5.0
100.0	8.2	7.4	6.7	5.9
200.0	8.8	8.9	8.0	7.1

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	5'494	2'778	1'759	937
25.0	6'724	4'031	2'863	1'847
50.0	7'762	5'113	3'872	2'767
100.0	9'123	6'619	5'166	3'880
200.0	11'070	9'724	7'594	5'661

— Häufigkeit
— Windgeschwindigkeit

WKA Energieproduktion [kWh/m2/Jahr]

(Normalwind) WKA mit normalem Leistungsfaktor (0.45 kW/m2) WKA mit hohem Leistungsfaktor (0.55 kW/m2) WKA mit kleinem Leistungsfaktor (0.35 kW/m2)

Rauhigkeitsklasse/Breite

Höhe	0	1	2	3
[m]	0.00 m	0.03 m	0.10 m	0.40 m
10.0	920	-	-	-
25.0	1'109	648	460	-
50.0	1'265	887	689	-
100.0	1'434	1'206	990	730
200.0	1'625	1'630	1'404	1'091

Rauhigkeitsklasse/Breite

Höhe	0	1	2	3
[m]	0.00 m	0.03 m	0.10 m	0.40 m
10.0	987	-	-	-
25.0	1'208	674	460	-
50.0	1'397	948	720	-
100.0	1'602	1'326	1'067	767
200.0	1'827	1'833	1'566	1'185

Rauhigkeitsklasse/Breite

Höhe	0	1	2	3
[m]	0.00 m	0.03 m	0.10 m	0.40 m
10.0	859	-	-	-
25.0	1'022	615	440	-
50.0	1'148	830	653	-
100.0	1'277	1'101	920	691
200.0	1'393	1'396	1'258	1'007

KennwerteBruttowindenergie 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 Energieproduktion

[km] [%] [%]

Aktuelle Windstatistik	155.0	86.5
Milano, 1966-75	136.8	7.4
Bolzano, 1966-75	212.3	17.9
Stuttgart, 1972-81	241.8	29.3
Lyon, 1970-79	294.0	62.2
München, 1970-79	295.5	59.8

STATGEN - Überblick**Berechnung:** 9 Juli - 9 Aug 02 **Datei:** G:\WindPRO Data\Projects\Schweiz\Gotthard\Berechnete Windstatistiken\09.08-09.09.2002.lib**Name**

09.08-09.09.2002

Quelle

USER

Staat

Standortkoordinaten

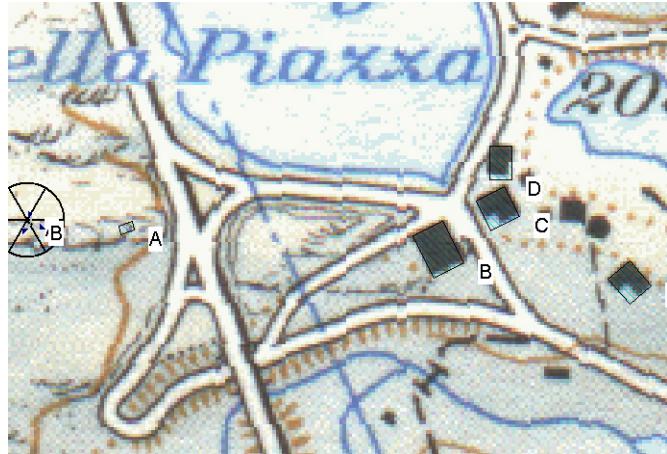
Local Ost: 686'242 Nord: 156'630

Terraindaten

Gotthard 30 m

Meteorologische Daten

Messmast Gotthard 30m



Maßstab 1:5'000

Terraindaten

Energie [kWh/m2/Jahr]

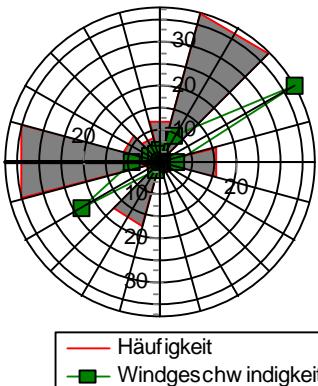
Meteorologische Daten Hindernis

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

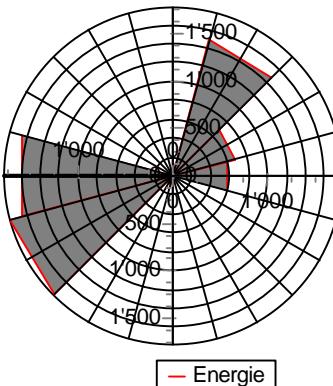
Höhe	0	1	2	3
[m]	0.00 m	0.03 m	0.10 m	0.40 m
10.0	7.9	5.9	5.1	3.9
25.0	8.6	7.0	6.2	5.1
50.0	9.2	7.9	7.1	6.0
100.0	9.8	9.1	8.3	7.2
200.0	10.6	10.7	9.9	8.5

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	7'206	3'859	2'451	1'232
25.0	8'747	5'213	3'719	2'293
50.0	10'085	6'458	4'905	3'338
100.0	11'833	8'250	6'513	4'660
200.0	14'339	12'149	9'699	6'884

WKA Energieproduktion [kWh/m2/Jahr]

(Normalwind) WKA mit normalem Leistungsfaktor (0.55 kW/m2) / KA mit hohem Leistungsfaktor (0.55 kW/m2) / WKA mit kleinem Leistungsfaktor (0.35 kW/m2)

Rauhigkeitsklasse/Breite

Höhe	0	1	2	3
[m]	0.00 m	0.03 m	0.10 m	0.40 m
10.0	1'355	723	478	-
25.0	1'557	1'060	808	476
50.0	1'714	1'361	1'117	760
100.0	1'879	1'692	1'478	1'119
200.0	-	-	1'889	1'533

Rauhigkeitsklasse/Breite

Höhe	0	1	2	3
[m]	0.00 m	0.03 m	0.10 m	0.40 m
10.0	1'507	759	481	-
25.0	1'746	1'149	857	478
50.0	1'932	1'514	1'217	802
100.0	2'130	1'906	1'653	1'219
200.0	-	-	2'143	1'718

Rauhigkeitsklasse/Breite

Höhe	0	1	2	3
[m]	0.00 m	0.03 m	0.10 m	0.40 m
10.0	1'221	685	457	-
25.0	1'351	981	761	455
50.0	1'464	1'226	1'028	719
100.0	1'629	1'442	1'303	1'030
200.0	-	-	1'639	1'337

KennwerteBruttowindenergie 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 Energieproduktion

[km] [%] [%]

Aktuelle Windstatistik 195.7 132.8

Milano, 1966-75 136.8 7.4 0.0

Bolzano, 1966-75 212.3 17.9 0.0

Stuttgart, 1972-81 241.8 29.3 0.0

Lyon, 1970-79 294.0 62.2 0.0

München, 1970-79 295.5 59.8 0.0

STATGEN - Überblick

Datei: G:\WindPRO Data\Projects\Schweiz\Gotthard\ 30.0 m langjaehrig.lib

Name

30.0 m langjaehrig

Quelle

USER

Staat

Standortkoordinaten

Local Ost: 686'242 Nord: 156'630

Terraindaten

Gotthard 30 m

Meteorologische Daten

langjährig



Maßstab 1:5'000

Terraindaten

Metereologische Dat

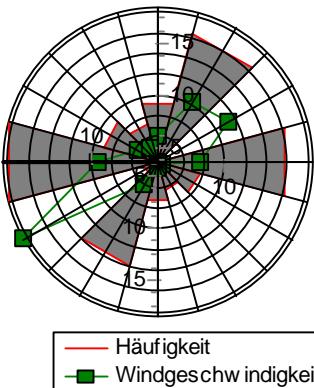
Hindernis

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

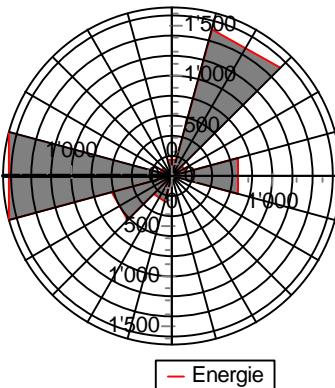
Höhe	0	1	2	3
[m]	0.00 m	0.03 m	0.10 m	0.40 m
10.0	7.8	5.7	4.9	3.9
25.0	8.5	6.7	5.9	5.1
50.0	9.1	7.6	6.8	6.0
100.0	9.7	8.7	7.9	7.1
200.0	10.5	10.2	9.4	8.3

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	6'528	2'753	1'925	1'204
25.0	8'203	4'062	3'070	2'268
50.0	9'637	5'331	4'202	3'358
100.0	11'599	7'182	5'738	4'753
200.0	14'477	11'173	8'834	7'014

— Häufigkeit
— Windgeschwindigkeit

WKA Energieproduktion [kWh/m2/Jahr]

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

Rauhigkeitsklasse/Breite

Höhe	0	1	2	3
[m]	0.00 m	0.03 m	0.10 m	0.40 m
10.0	1'330	649	-	-
25.0	1'535	963	732	479
50.0	1'693	1'248	1'021	755
100.0	1'854	1'578	1'367	1'092
200.0	-	-	1'760	1'476

Rauhigkeitsklasse/Breite

Höhe	0	1	2	3
[m]	0.00 m	0.03 m	0.10 m	0.40 m
10.0	1'477	675	-	-
25.0	1'721	1'036	770	482
50.0	1'907	1'377	1'103	796
100.0	2'101	1'772	1'522	1'187
200.0	-	-	1'988	1'651

Rauhigkeitsklasse/Breite

Höhe	0	1	2	3
[m]	0.00 m	0.03 m	0.10 m	0.40 m
10.0	1'201	616	-	-
25.0	1'338	896	693	458
50.0	1'443	1'135	947	715
100.0	1'604	1'364	1'232	1'008
200.0	-	-	1'510	1'302

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 Energieproduktion

	[km]	[%]	[%]
Aktuelle Windstatistik		161.5	121.7
Milano, 1966-75	136.8	7.4	0.0
Bolzano, 1966-75	212.3	17.9	0.0
Stuttgart, 1972-81	241.8	29.3	0.0
Lyon, 1970-79	294.0	62.2	0.0
München, 1970-79	295.5	59.8	0.0



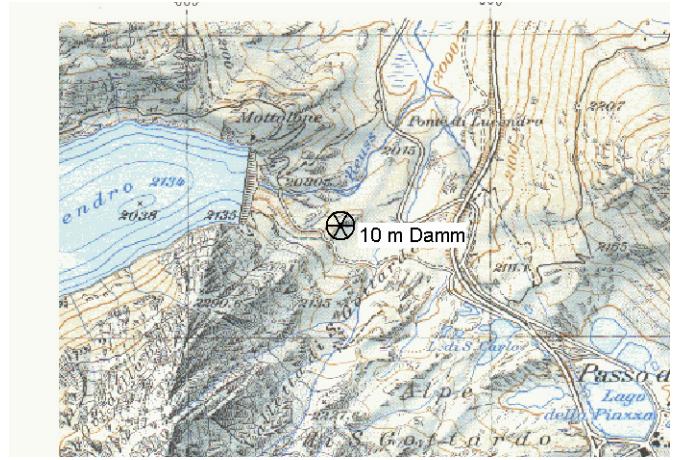
13.6 WINDPROFILE DAMM, SELLA UND WAGENHEBER

WAsP interface - Hauptergebnis**Berechnung:** 10 m Damm 021023

Name 10 m Damm
Standortkoordinaten Local Ost: 685'507 Nord: 157'367
Luftdichte 0.988 kg/m³

Die Berechnung basiert auf "10 m Damm", Verwende WAsP (RVEA0011 1, 0, 0, 9), um die Windstatistik zu entfernen. Bei Verwendung der ausgewählten Leistungskennlinie wird die jährlich zu erwartende Energieproduktion berechnet.

Windstatistiken 2 Juni 02 - 18 Juni 02.lib



Maßstab 1:25'000

Terraindaten

Berechnungsresultate**Referenzwerte für eine Höhe von 50.0 m über Grund**Bruttowindenergie: 947 kWh/m²; Mittlere Windgeschwindigkeit: 4.2 m/s; Mittlere Rauhigkeit: 3.7**Referenzwerte für eine Höhe von 30.0 m über Grund**Bruttowindenergie: 547 kWh/m²; Mittlere Windgeschwindigkeit: 3.6 m/s; Mittlere Rauhigkeit: 3.7**Berechnete jährliche Energieproduktion**

WKA Typ	Aktuell	Hersteller	Typ	Leistungskennlinie					Jährliche Energieproduktion		
				Leistung	Rotord.	Höhe	Erzeuger	Name	Ergebnis	Ergebnis-20%	Mittlere Windgeschwindigkeit
				[kW]	[m]	[m]			[MWh]	[MWh]	[m/s]
Ja	ANBONUS	AN 1,3MW / 62	1'300/260	62.0	68.0	EMD	WICO	06/00 1.225 25.0 0.00	1'313.8	1'051	4.7

WAsP interface - Analyse der Windverhältnisse

Berechnung: 10 m Damm 021023 Winddaten: 10 m Damm - 10 m Damm; Nabenhöhe: 10.0

Standortkoordinaten

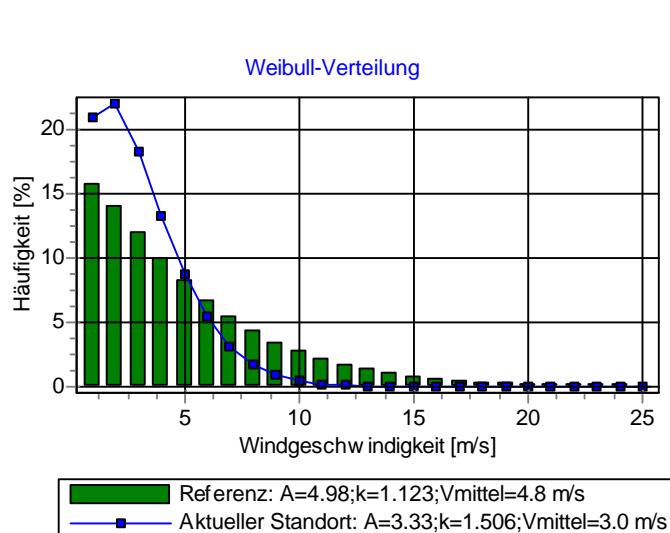
Local Ost: 685'507 Nord: 157'367

Original

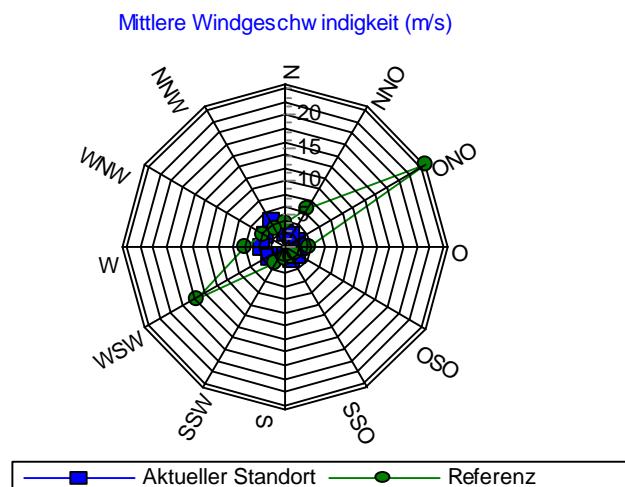
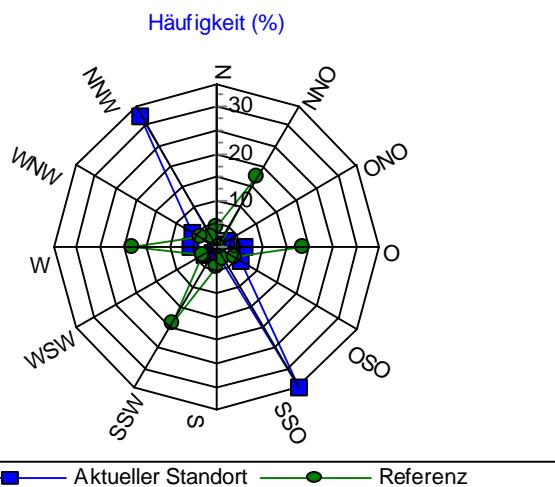
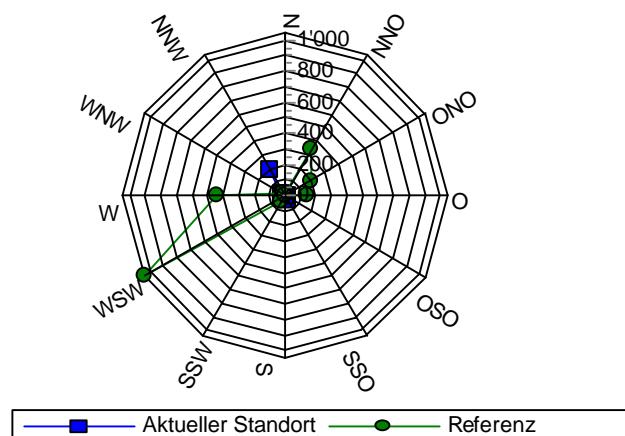
Windstatistiken 2 Juni 02 - 18 Juni 02.lib

Weibull-Daten

Sektor	Aktueller Standort		Referenz	
	A-Parameter [m/s]	Windgeschwindigkeit [m/s]	A-Parameter [m/s]	k-Parameter [%]
0 N	2.33	2.07	1.842	0.3
1 NNO	2.33	2.07	1.842	0.3
2 ONO	2.26	2.09	1.291	2.4
3 O	2.29	2.13	1.271	6.1
4 OSO	2.30	2.14	1.271	6.1
5 SSO	2.26	2.03	1.561	34.9
6 S	1.51	1.34	1.869	1.4
7 SSW	1.49	1.32	1.869	1.4
8 WSW	3.17	2.90	1.346	3.1
9 W	3.91	3.51	1.596	5.8
10 WNW	3.91	3.51	1.596	5.8
11 NNN	5.00	4.43	2.424	32.5
Gesamt	3.33	3.01	1.506	100.0
			4.98	1.123
			100.0	



Referenz: Rauhigkeitsklasse 1

Windenergirose (kWh/m²/Jahr)

WAsP interface - Windprofil

Berechnung: 10 m Damm 021023 WKA: ANBONUS AN 1,3MW - 62 1300-260 62.0 !O! WICO 06/00 1.225 25.0 0.00, Nabenhöhe: 68.0 m

Terraindaten

10 m Damm

Standortkoordinaten

Local Ost: 685'507 Nord: 157'367

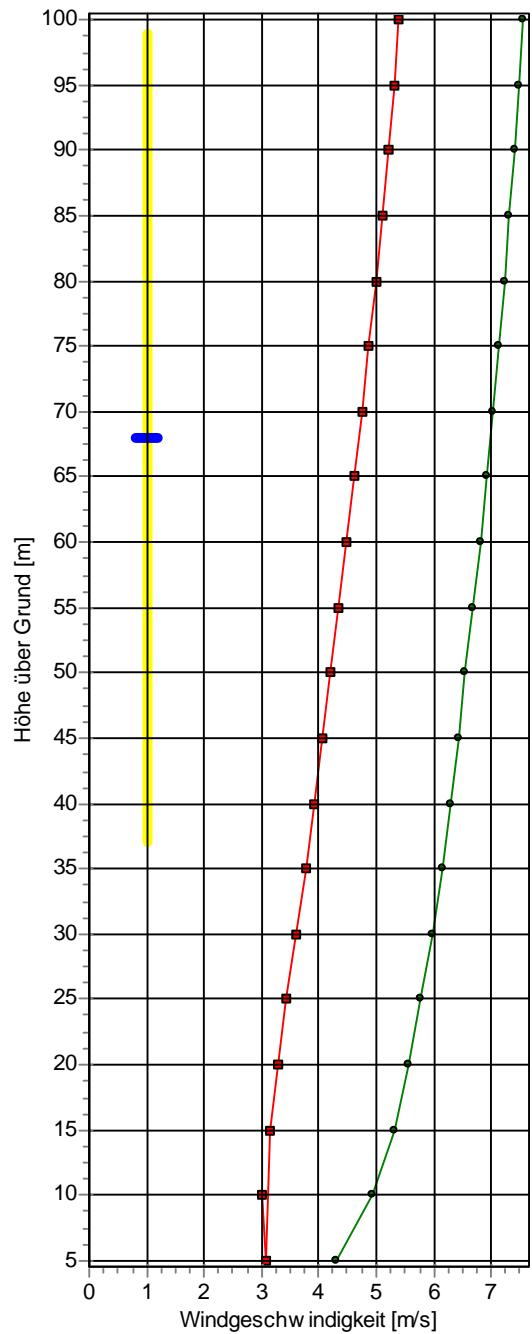
Luftdichte

0.988 kg/m3

Windstatistiken

2 Juni 02 - 18 Juni 02.lib

Höhe	Mittlere Windgeschwindigkeit	A-Parameter	k-Parameter	Bruttowindenergie	Ertrag	Ertragswechsel	Orographie
	[m/s]	[m/s]		[kWh/m2]	[MWh]	[MWh]	[%]
5	3.1	3.4	1.48	351	432	-882	-31.1
10	3.0	3.3	1.51	317	390	-924	-35.0
15	3.1	3.5	1.56	345	427	-887	-33.9
20	3.3	3.7	1.57	392	485	-828	-35.7
25	3.4	3.8	1.54	461	567	-747	-39.8
30	3.6	4.0	1.51	547	658	-656	-40.9
35	3.8	4.2	1.49	641	749	-565	-40.4
40	3.9	4.3	1.46	738	838	-476	-39.2
45	4.1	4.5	1.44	841	923	-391	-37.8
50	4.2	4.6	1.42	947	1'004	-309	-36.3
55	4.3	4.8	1.41	1'059	1'095	-219	-34.8
60	4.5	4.9	1.40	1'179	1'182	-132	-33.2
65	4.6	5.1	1.39	1'296	1'266	-48	-31.8
70	4.7	5.2	1.39	1'409	1'346	32	-30.3
75	4.9	5.3	1.38	1'528	1'423	109	-29.0
80	5.0	5.5	1.38	1'641	1'497	183	-27.7
85	5.1	5.6	1.37	1'754	1'569	255	-26.4
90	5.2	5.7	1.37	1'860	1'637	324	-25.2
95	5.3	5.8	1.37	1'971	1'704	390	-24.1
100	5.4	5.9	1.37	2'081	1'769	455	-23.0



■	Mittlere Windgeschwindigkeit
●	Ohne Orographie/Hindernisse
■	WKA Rotor

WAsP interface - Hauptergebnis**Berechnung:** 10 m Sella 021023

Name 10 m Sella
Standortkoordinaten Local Ost: 687'127 Nord: 156'256
Luftdichte 0.988 kg/m³

Die Berechnung basiert auf "10 m Sella", Verwende WAsP (RVEA0011 1, 0, 0, 9), um die Windstatistik zu entfernen. Bei Verwendung der ausgewählten Leistungskennlinie wird die jährlich zu erwartende Energieproduktion berechnet.

Windstatistiken 09.08-09.09.2002.lib



Maßstab 1:25'000

Terraindaten

Berechnungsresultate**Referenzwerte für eine Höhe von 50.0 m über Grund**Bruttowindenergie: 4'336 kWh/m²; Mittlere Windgeschwindigkeit: 7.4 m/s; Mittlere Rauhigkeit: 1.7**Referenzwerte für eine Höhe von 10.0 m über Grund**Bruttowindenergie: 1'938 kWh/m²; Mittlere Windgeschwindigkeit: 5.7 m/s; Mittlere Rauhigkeit: 1.1**Berechnete jährliche Energieproduktion**

WKA Typ	Aktuell	Hersteller	Typ	Leistungskennlinie					Jährliche Energieproduktion			Mittlere Windgeschwindigkeit [m/s]
				Leistung [kW]	Rotord. [m]	Höhe [m]	Erzeuger	Name	Ergebnis [MWh]	Ergebnis-20% [MWh]		
Ja	ANBONUS	AN 1,3MW / 62	1'300/260	62.0	68.0	EMD	WICO	06/00 1.225 25.0 0.00	3'267.6	2'614		7.9

WAsP interface - Analyse der Windverhältnisse

Berechnung: 10 m Sella 021023 Winddaten: 10 m Sella - 10 m Sella; Nabenhöhe: 10.0

Standortkoordinaten

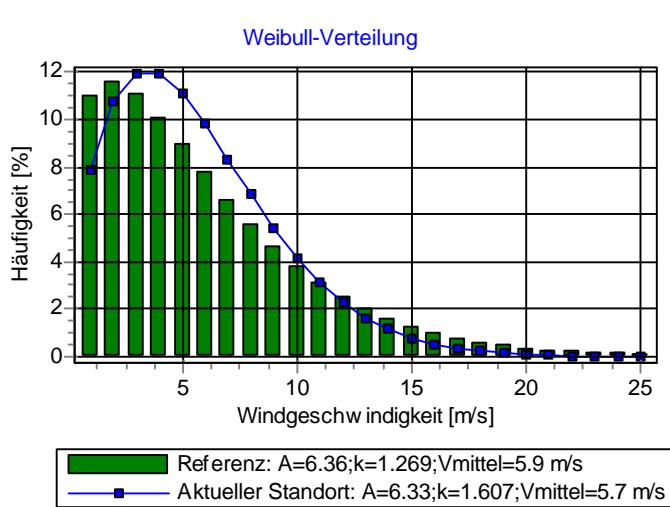
Local Ost: 687'127 Nord: 156'256

Original

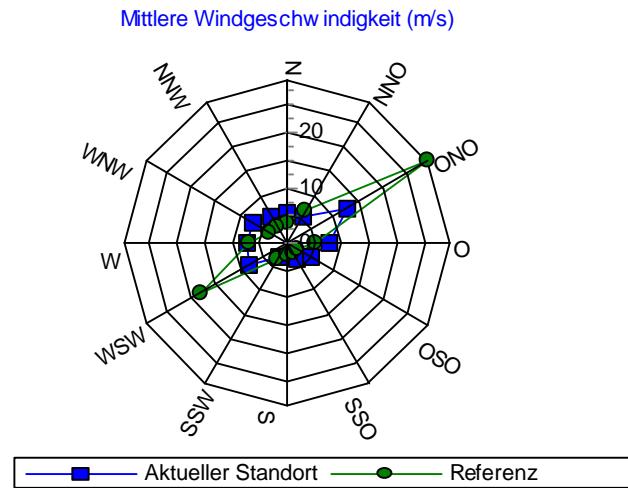
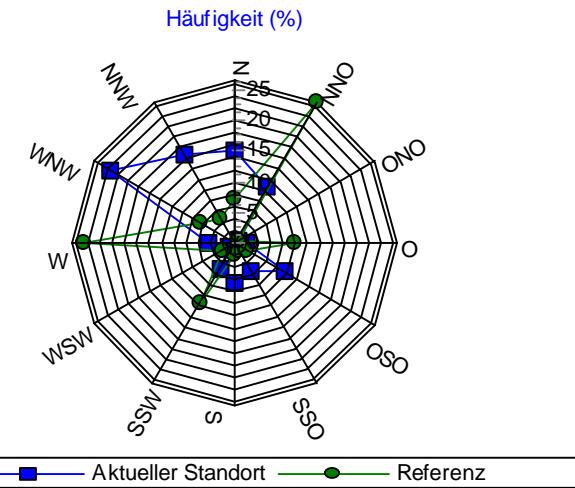
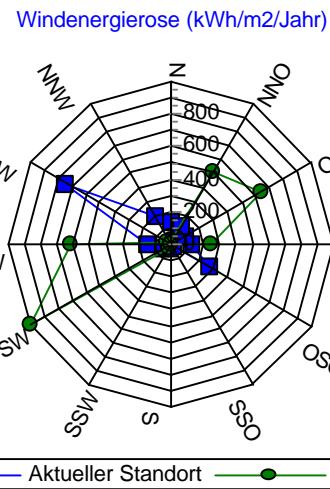
Windstatistiken 09.08-09.09.2002.lib

Weibull-Daten

Sektor	Aktueller Standort		Referenz					
	A-Parameter [m/s]	Windgeschwindigkeit [m/s]	k-Parameter	Häufigkeit [%]	A-Parameter [m/s]	k-Parameter	Häufigkeit [%]	
0 N	6.02	5.39	3.279	15.2	4.26	2.670	7.1	
1 NNO	6.24	5.53	2.467	10.6	7.71	3.300	26.6	
2 NO	14.04	12.44	2.322	0.7	33.21	2.560	0.9	
3 O	8.14	7.55	1.279	1.9	5.29	1.140	9.9	
4 OSO	5.35	5.18	1.084	9.4	2.60	2.280	2.3	
5 SSO	3.78	3.35	2.178	5.3	2.24	2.280	1.5	
6 S	2.93	2.59	2.045	6.5	2.56	2.350	2.0	
7 SSW	3.21	3.01	1.213	4.8	3.75	2.050	11.4	
8 WSW	8.88	7.88	1.920	1.2	20.49	2.130	2.5	
9 W	8.36	7.41	1.975	4.2	7.68	2.080	24.7	
10 WNW	8.22	7.28	2.021	23.7	4.32	2.630	6.6	
11 NNW	6.34	5.63	2.498	16.6	3.74	2.690	4.4	
Gesamt	6.33	5.67	1.607	100.0	6.36	1.269	100.0	



Referenz: Rauhigkeitsklasse 1



WAsP interface - Windprofil

Berechnung: 10 m Sella 021023 WKA: ANBONUS AN 1,3MW - 62 1300-260 62.0 IO! WICO 06/00 1.225 25.0 0.00, Nabenhöhe: 68.0 m

Terraindaten

10 m Sella

Standortkoordinaten

Local Ost: 687'127 Nord: 156'256

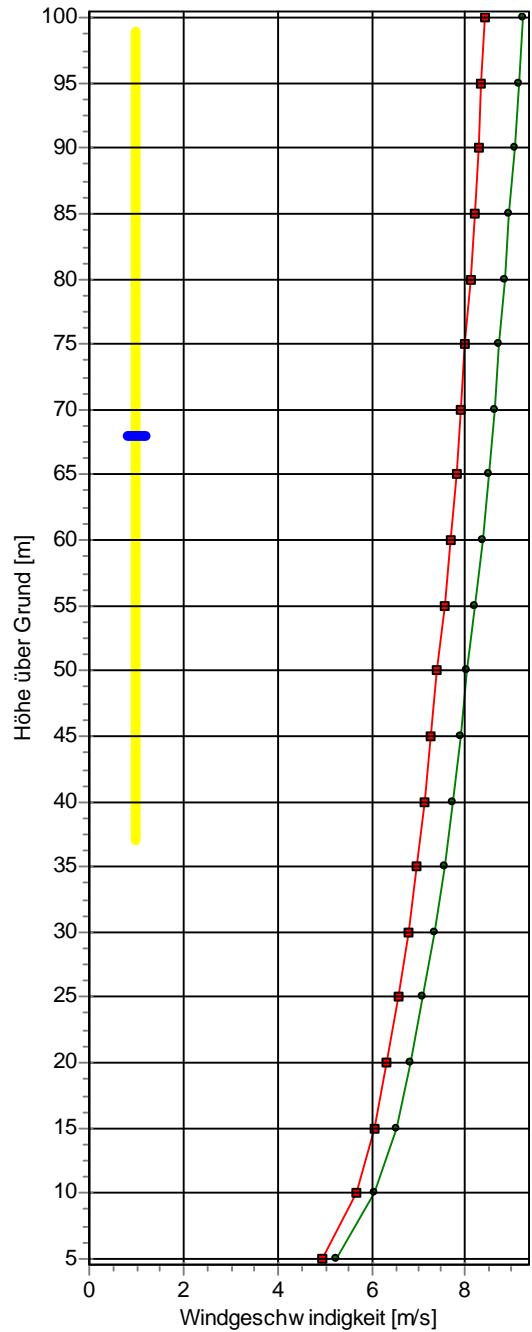
Luftdichte

0.988 kg/m³

Windstatistiken

09.08-09.09.2002.lib

Höhe	Mittlere Windgeschwindigkeit	A-Parameter	k-Parameter	Bruttowindenergie	Ertrag	Ertragswechsel	Orographie
	[m/s]	[m/s]		[kWh/m²]	[MWh]	[MWh]	[%]
5	4.9	5.5	1.46	1'468	1'413	-1'854	140.6
10	5.7	6.3	1.61	1'938	1'831	-1'437	94.3
15	6.1	6.8	1.62	2'319	2'078	-1'190	66.5
20	6.3	7.1	1.57	2'737	2'269	-999	52.2
25	6.6	7.3	1.54	3'091	2'417	-851	44.3
30	6.8	7.5	1.52	3'421	2'560	-707	39.0
35	7.0	7.7	1.51	3'696	2'681	-587	35.2
40	7.1	7.9	1.49	3'938	2'784	-484	32.3
45	7.3	8.0	1.48	4'152	2'873	-395	30.0
50	7.4	8.2	1.47	4'336	2'952	-315	28.1
55	7.5	8.3	1.47	4'532	3'051	-217	26.4
60	7.7	8.5	1.47	4'710	3'140	-128	24.9
65	7.8	8.6	1.47	4'872	3'221	-46	23.7
70	7.9	8.7	1.48	5'016	3'297	29	22.6
75	8.0	8.8	1.48	5'155	3'367	100	21.6
80	8.1	8.9	1.48	5'283	3'432	165	20.7
85	8.2	9.0	1.48	5'404	3'494	226	20.0
90	8.3	9.1	1.48	5'512	3'551	284	19.3
95	8.3	9.2	1.48	5'619	3'606	338	18.7
100	8.4	9.3	1.48	5'720	3'658	390	18.1



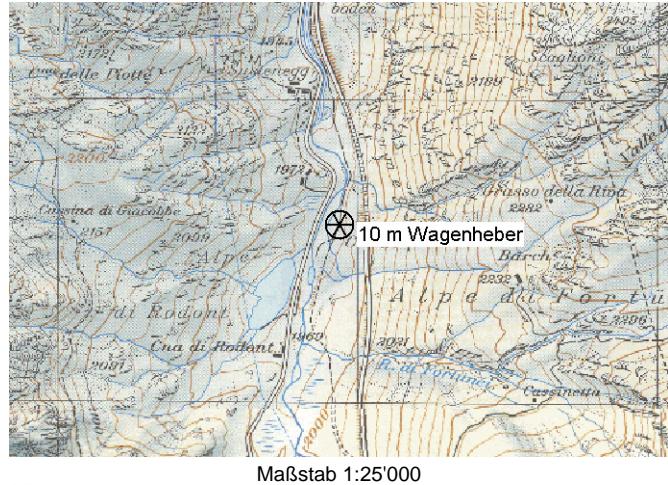
■	Mittlere Windgeschwindigkeit
●	Ohne Orographie/Hindernisse
■	WKA Rotor

WAsP interface - Hauptergebnis**Berechnung:** 10 m Wagenheber 021023

Name 10 m Wagenheber
Standortkoordinaten Local Ost: 685'925 Nord: 158'575
Luftdichte 0.988 kg/m³

Die Berechnung basiert auf "10 m Wagenheber", Verwende WAsP (RVEA0011 1, 0, 0, 9), um die Windstatistik zu entfernen. Bei Verwendung der ausgewählten Leistungskennlinie wird die jährlich zu erwartende Energieproduktion berechnet.

Windstatistiken 15 Aug 01 - 10 Okt 01.lib

**Berechnungsresultate****Referenzwerte für eine Höhe von 50.0 m über Grund**

Bruttowindenergie: 2'099 kWh/m²; Mittlere Windgeschwindigkeit: 4.9 m/s; Mittlere Rauhigkeit: Nicht berechnet
 Referenzwerte für eine Höhe von 10.0 m über Grund

Bruttowindenergie: 4'250 kWh/m²; Mittlere Windgeschwindigkeit: 7.0 m/s; Mittlere Rauhigkeit: 0.7

Berechnete jährliche Energieproduktion

WKA Typ	Aktuell	Hersteller	Typ	Leistungskennlinie					Jährliche Energieproduktion			
				Leistung	Rotord.	Höhe	Erzeuger	Name	Ergebnis	Ergebnis-20%	Mittlere Windgeschwindigkeit	
				[kW]	[m]	[m]			[MWh]	[MWh]	[m/s]	
Ja	ANBONUS	AN 1,3MW / 62	1'300/260	62.0	50.0	EMD	WICO	06/00 1.225 25.0 0.00	1'524.2	1'219	4.9	

WAsP interface - Analyse der Windverhältnisse

Berechnung: 10 m Wagenheber 021023 Winddaten: 10 m Wagenheber - 10 m Wagenheber; Nabenhöhe: 10.0

Standortkoordinaten

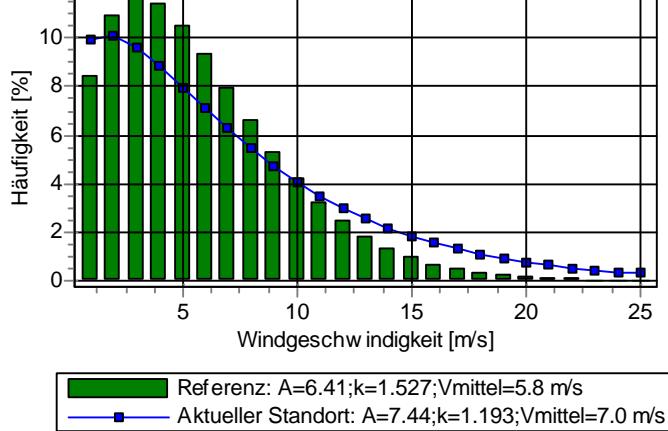
Local Ost: 685'925 Nord: 158'575

Original

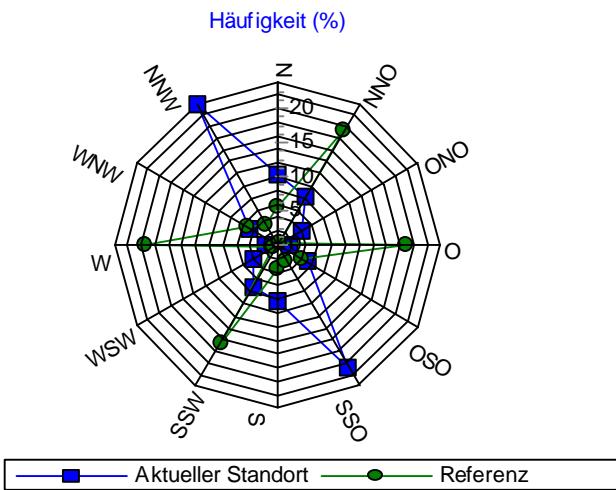
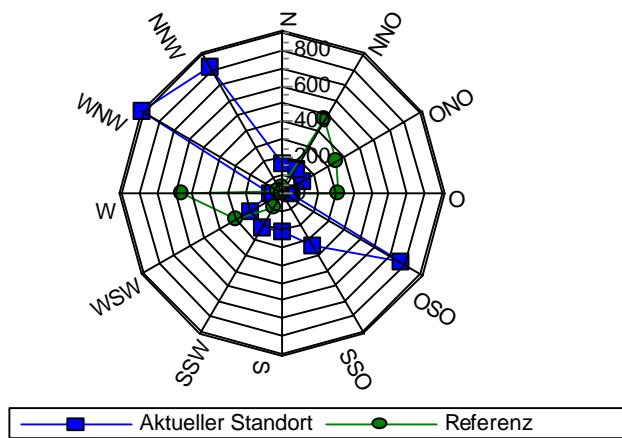
Windstatistiken 15 Aug 01 - 10 Okt 01.lib

Weibull-Daten

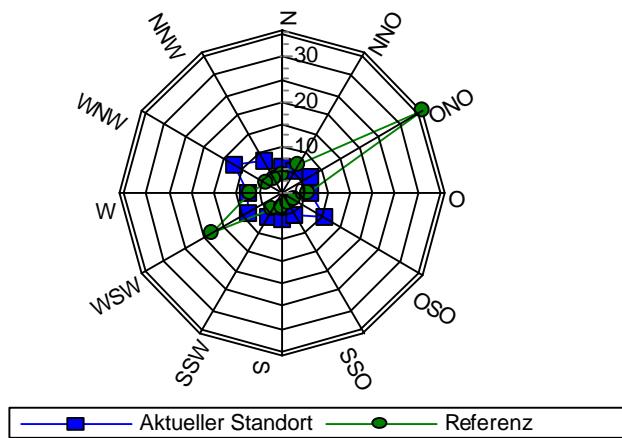
Sektor	Aktueller Standort		Referenz	
	A-Parameter [m/s]	Windgeschwindigkeit [m/s]	A-Parameter [m/s]	Windgeschwindigkeit [m/s]
0 N	6.32	5.62	1.779	10.3
1 NNO	6.42	5.72	1.709	8.2
2 ONO	8.11	7.19	1.947	4.0
3 O	6.85	6.12	1.678	1.7
4 OSO	11.16	10.54	1.186	4.9
5 SSO	6.24	5.56	1.756	20.8
6 S	6.45	5.88	1.396	8.2
7 SSW	6.74	6.14	1.412	7.2
8 WSW	9.66	8.56	1.998	4.0
9 W	8.42	7.48	1.830	1.9
10 WNW	11.91	12.23	0.943	4.7
11 NNW	8.95	7.94	2.498	23.9
Gesamt	7.44	7.01	1.193	100.0



Referenz: Rauhigkeitsklasse 1

Windenergirose (kWh/m²/Jahr)

Mittlere Windgeschwindigkeit (m/s)



WAsP interface - Windprofil

Berechnung: 10 m Wagenheber 021023 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

10 m Wagenheber

Standortkoordinaten

Local Ost: 685'925 Nord: 158'575

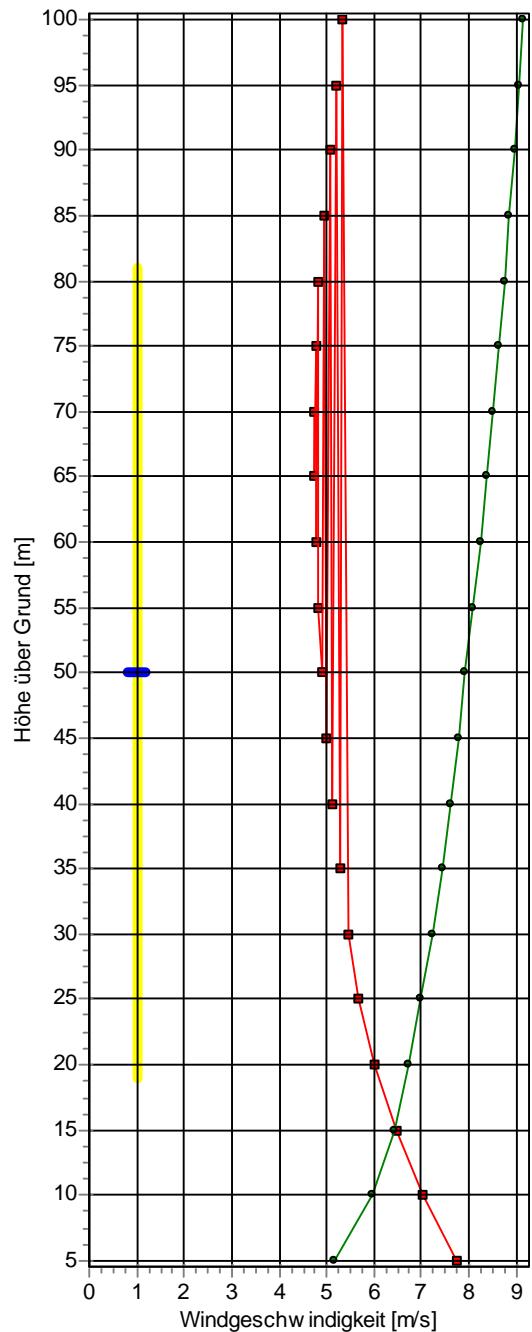
Luftdichte

0.988 kg/m³

Windstatistiken

15 Aug 01 - 10 Okt 01.lib

Höhe	Mittlere Windgeschwindigkeit	A-Parameter	k-Parameter	Bruttowindenergie	Ertrag	Ertragswechsel	Orographie
	[m/s]	[m/s]		[kWh/m²]	[MWh]	[MWh]	[%]
5	7.7	8.0	1.09	4'998	2'995	1'471	192.4
10	7.0	7.4	1.19	4'250	2'643	1'119	127.8
15	6.5	7.0	1.25	3'556	2'259	735	81.1
20	6.0	6.5	1.27	2'982	1'990	466	35.7
25	5.7	6.1	1.26	2'621	1'745	221	14.6
30	5.5	5.8	1.24	2'409	1'640	116	1.4
35	5.3	5.6	1.21	2'277	1'579	55	-7.1
40	5.1	5.4	1.17	2'200	1'546	22	-12.7
45	5.0	5.2	1.13	2'134	1'535	10	-11.8
50	4.9	5.1	1.10	2'099	1'524	0	-15.8
55	4.8	5.0	1.07	2'098	1'539	15	-19.5
60	4.8	4.9	1.04	2'094	1'558	34	-22.6
65	4.8	4.8	1.02	2'104	1'675	151	-25.9
70	4.7	4.8	1.01	2'114	1'696	172	-28.0
75	4.8	4.8	1.00	2'151	1'792	267	-24.0
80	4.8	4.8	1.01	2'211	1'928	404	-20.0
85	4.9	5.0	1.02	2'287	1'969	445	-16.4
90	5.1	5.1	1.04	2'374	1'993	469	-17.5
95	5.2	5.3	1.06	2'468	2'023	499	-18.1
100	5.3	5.5	1.08	2'559	2'054	530	-18.4



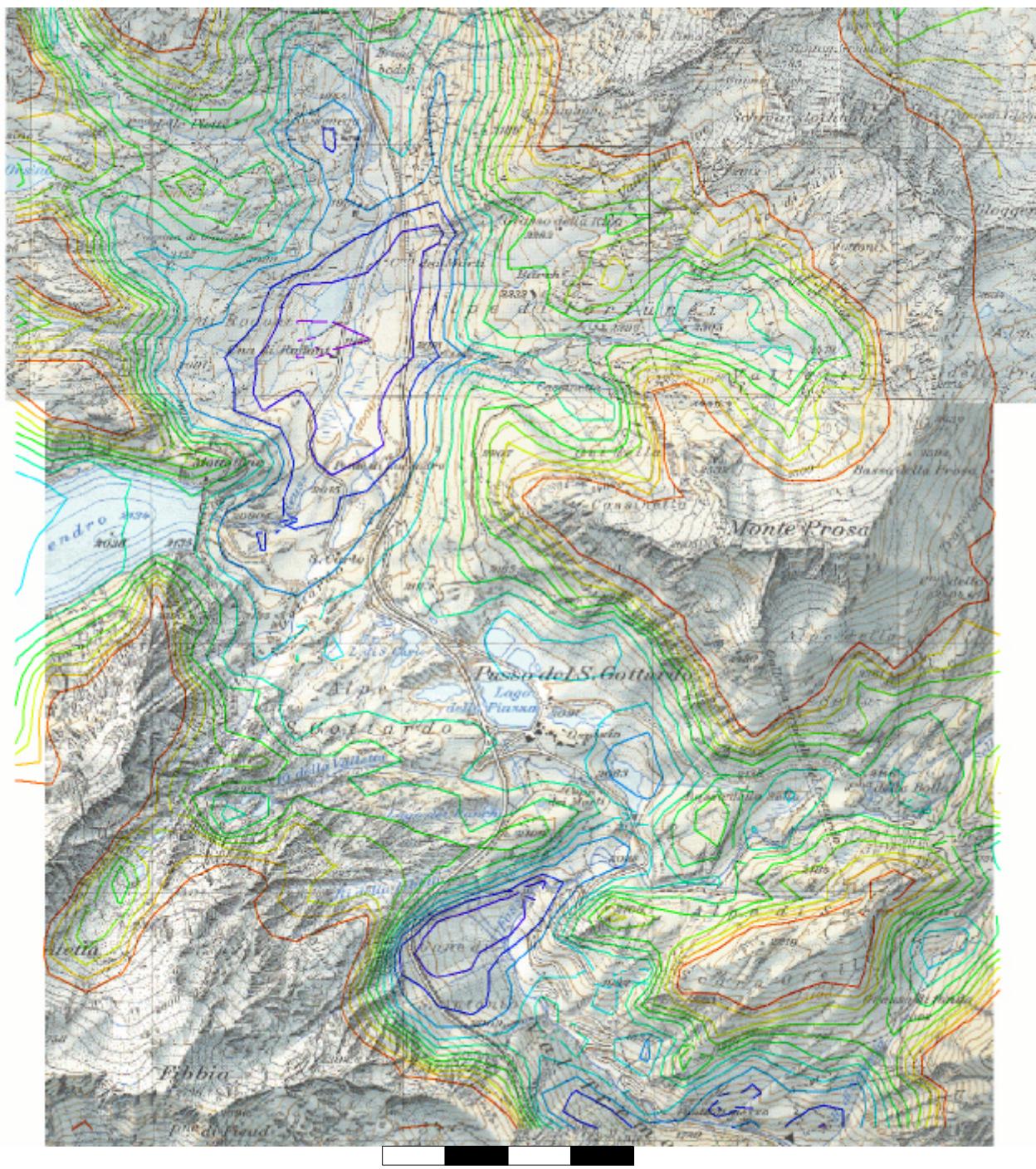
■	Mittlere Windgeschwindigkeit
●	Ohne Orographie/Hindernisse
○	WKA Rotor



13.7 RESSOURCENKARTE (50 M UND 70 M)

RESOURCE - Karte Zusam

Berechnung: Langjährig Datei: Karte Zusam.bmi



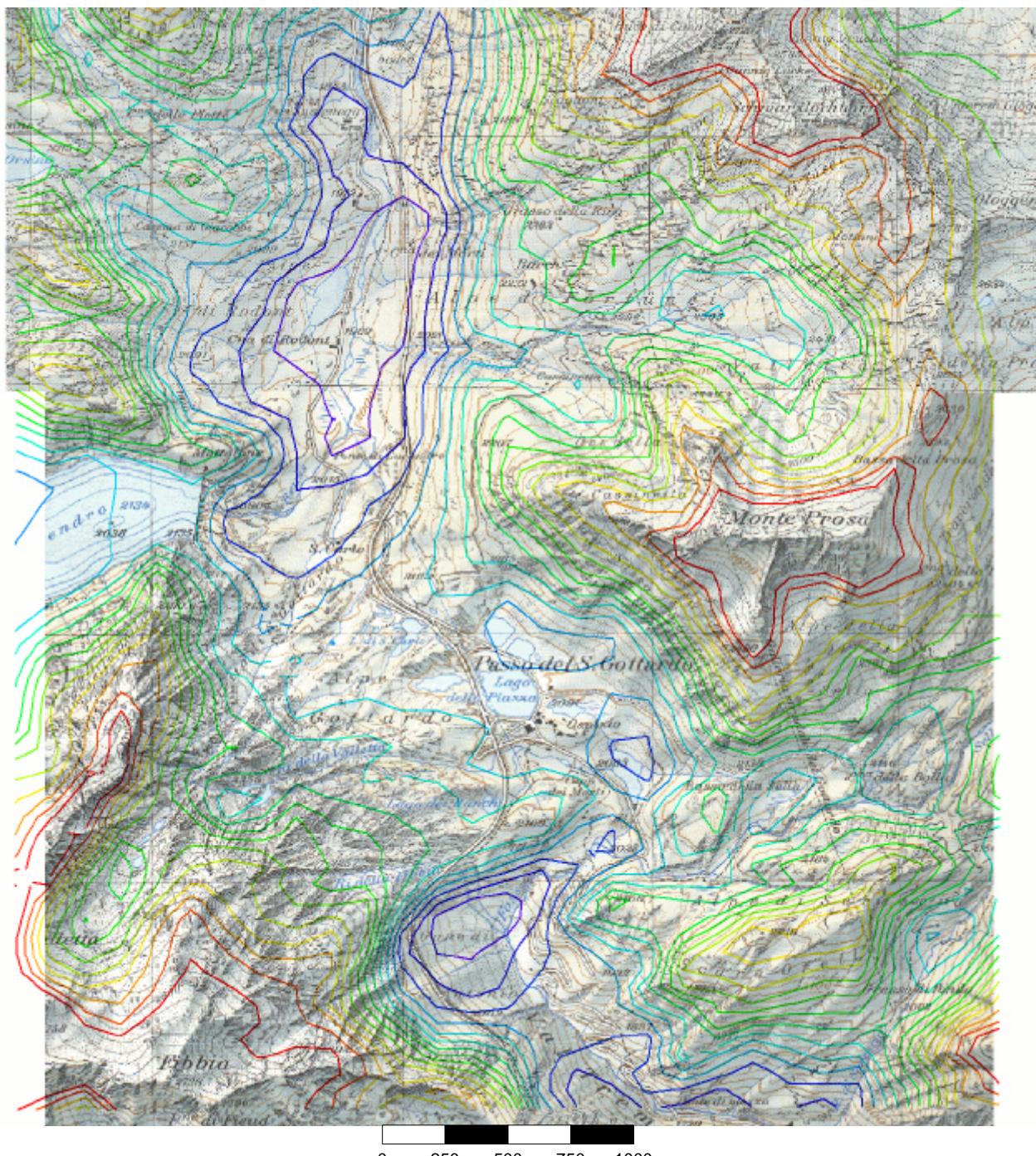
Karte: Karte Zusam, Druckmaßstab 1:25'000, Kartenzentrum Local Ost: 686'422 Nord: 157'302

Dargestellte ISO-Linien: Mittlere Windgeschwindigkeit Höhe: 50.0

3.5 m/s	5.0 m/s	6.5 m/s	8.0 m/s	9.5 m/s
4.0 m/s	5.5 m/s	7.0 m/s	8.5 m/s	10.0 m/s
4.5 m/s	6.0 m/s	7.5 m/s	9.0 m/s	11.0 m/s

RESOURCE - Karte zusam

Berechnung: Langjährig Datei: Karte zusam.bmi



Karte: Karte zusam, Druckmaßstab 1:25'000, Kartenzentrum Local Ost: 686'422 Nord: 157'302

Dargestellte ISO-Linien: Mittlere Windgeschwindigkeit Höhe: 70.0

4.0 m/s	6.0 m/s	8.0 m/s	10.0 m/s	12.0 m/s
4.5 m/s	6.5 m/s	8.5 m/s	10.5 m/s	
5.0 m/s	7.0 m/s	9.0 m/s	11.0 m/s	
5.5 m/s	7.5 m/s	9.5 m/s	11.5 m/s	



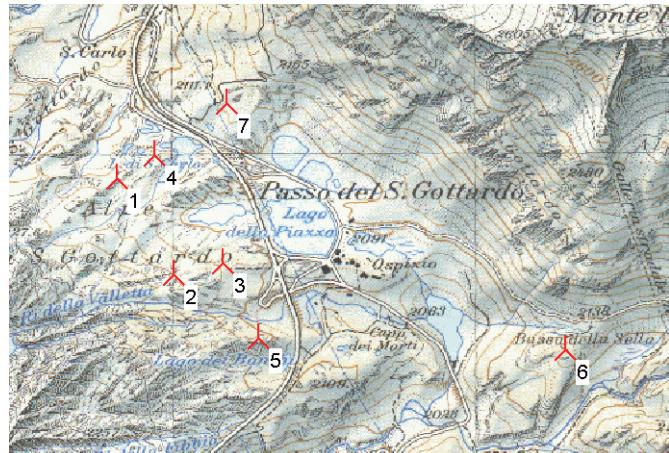
13.8 WINDPARKBERECHNUNG

PARK - Hauptergebnis**Berechnung:** Windpark 1.3 MW Gotthard 021024

Luftdichte 0.988 kg/m³
Ausbreitungskonstante für Nachlaufströmung 0.075

WKA Standort

	Local			Reihendaten/ Beschreibung
	X	Y	Z	[m]
1 Neu	685'817	156'915	2'120	5 Bonus 1.3 MW Alpe
2 Neu	686'007	156'597	2'139	7 Bonus 1.3 MW Pendio
3 Neu	686'168	156'634	2'118	6 Bonus 1.3 MW Misurazione
4 Neu	685'942	156'991	2'110	4 Bonus 1.3 MW Lago S. Carlo
5 Neu	686'286	156'384	2'109	3 Bonus 1.3 MW Banchi
6 Neu	687'303	156'344	2'150	1 Bonus 1.3 MW 68m Sella
7 Neu	686'182	157'163	2'123	2 Bonus 1.3 MW 68m Alta



Maßstab 1:25'000

↗ Neue WKA

Windressource(n) Datei(en)

\Lunek\2_NEK_Wind\20372 Windpotentialstudie Gotthard, Schweiz\BFE_01.rsf

Hauptergebnis für WINDPARK-Berechnung

WKA Kombination	Windpark Energieproduktion	Windpark Energieproduktion - 20 %	Windpark Parkwirkungsgrad	Mittlere WKA-Produktion
[MWh]	[MWh]	[MWh]	[%]	[MWh]
Windpark	17'514.3	14'011.4	94.5	2'502.0

Berechnete jährliche Energieproduktion für neue WKA

WKA Typ	Aktuell	Hersteller	Typ	Leistungskennlinie					Jährliche Energieproduktion			PARK
				Leistung [kW]	Rotord. [m]	Höhe [m]	Erzeuger	Name	Ergebnis [MWh]	Ergebnis-20% [MWh]	Parkwirkungsgrad [%]	
1 Ja	ANBONUS	AN 1,3MW / 62	1'300/260	62.0	50.0	EMD	WICO 06/00	1.225 25.0 0.00	2'202.6	1'762	96.2	
2 Ja	ANBONUS	AN 1,3MW / 62	1'300/260	62.0	50.0	EMD	WICO 06/00	1.225 25.0 0.00	2'487.8	1'990	91.1	
3 Ja	ANBONUS	AN 1,3MW / 62	1'300/260	62.0	50.0	EMD	WICO 06/00	1.225 25.0 0.00	2'382.5	1'906	89.8	
4 Ja	ANBONUS	AN 1,3MW / 62	1'300/260	62.0	50.0	EMD	WICO 06/00	1.225 25.0 0.00	2'213.7	1'771	96.6	
5 Ja	ANBONUS	AN 1,3MW / 62	1'300/260	62.0	50.0	EMD	WICO 06/00	1.225 25.0 0.00	2'540.8	2'033	90.7	
6 Ja	ANBONUS	AN 1,3MW / 62	1'300/260	62.0	50.0	EMD	WICO 06/00	1.225 25.0 0.00	3'099.4	2'480	98.5	
7 Ja	ANBONUS	AN 1,3MW / 62	1'300/260	62.0	50.0	EMD	WICO 06/00	1.225 25.0 0.00	2'587.4	2'070	98.8	



13.9 POTENTIAL- UND STANDORTABKLÄRUNGEN FÜR EIN WINDENERGIEPROJEKT AUF DEM GOTTHARDPASS

Projektvorbeschrieb vom 23. September 2002

Potential- und Standortabklärungen für ein Windenergieprojekt auf dem Gotthardpass

Airolo TI

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 Gotthardpass 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 die 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 bereits im Jahr 2003 mit der Installation der Windmühlen begonnen werden. Je nach Ergebnis der Windmessungen und den planerischen Auflagen können auf dem in Aussicht stehenden Gebiet ca. 4 - 9 MW an Windleistung installiert werden. Das Projekt wird entweder in zwei Etappen unterteilt oder aber, je nach den Behördenvorgaben, auch in einer einzigen Etappe realisiert. Bei einer Etappierung des Projektes sollen in einer ersten Phase 2 Anlagen als Pilotprojekt dienen, um erste Erfahrungen zu sammeln, unmittelbar danach werden die weiteren Anlagen projektiert.

Die vorliegenden Messdaten sind erfreulich, die durchschnittlichen Windstärken auf 30 m Höhe von ca. 6.0 m/s sind ausreichend, um ein Windkraftprojekt zu lancieren. 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.

Die Abklärungen bei den Behörden und involvierten Gremien haben ergeben, dass die Entwicklung der Windenergie grundsätzlich begrüßt wird. Aus Sicht des Landschaftsschutzes, der Umwelteinflüsse wie auch der Wirtschaftlichkeit ist der Standort Gotthard einer der besten im schweizerischen Alpenraum. Bestehende Infrastrukturen, optische und bauliche Vorbelastungen wie auch die schlechte Einsehbarkeit aus der Umgebung minimieren die zusätzlich nötigen Installationen und auch die Auswirkungen des Projektes auf die Landschaft.

ABSTRACT

The aim of this project is, to check carefully, whether the chosen site on the Gotthard Pass in Switzerland is suitable for the installation of wind turbines. For that reason, we have started late in the year of 2000 with comprehensive wind measurements. Beside that, we will clarify during the time being all the other points and parameters that are linked to get a building permission for a wind energy project at the chosen site. If the wind conditions are good enough to run wind turbines on the Gotthard Pass economically and if the feed-in price of the generated electricity is sufficient, it is the aim to start with the installation of the first wind turbines already in the year of 2003. Depending on the results of the wind measurements and environmental aspects, it would be possible to install at this site a rated energy output of around 4 - 9 MW.

The project will be developed either in two parts or in one step. If it is split in two parts, the first two wind turbines will serve to get practical experience of the site. Afterwards the construction license will be applied for the remaining sites.

After the installation of a 30 m high measuring mast, we started data collection back in December 2000. In order to get comprehensive and entire data, we have continued data recording over 18 months until summer of 2002. The results of the measuring period are promising: 30 m above ground a mean wind velocity of around 6.0 m/s was observed.

Parallel to the ongoing measurements, we continue having discussions and negotiations with the responsible authorities and federations with the final aim to get clear information about their opinion towards this project and for a building license. From the point of view of landscape protection and as well from an economical and wind specific view, the chosen Gotthard site is one of the best places in the alpine part of Switzerland to erect wind turbines. A good infrastructure, the already existing visual impact of various civil work as well as the bad visibility from the surroundings make only necessary very few additional constructions and minimize the environmental impact of a wind plant.

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. AUSGANGSLAGE	6
1.1 Beschreibung des Projektes	6
1.2 Projektumfeld, Abgrenzungen gegenüber anderen Projekten	7
1.3 Raumentwicklung auf der Gotthard Passhöhe	7
2. NEUE BAUTEN UND ANLAGEN AN WINDMÜHLENSTANDORTEN	9
2.1 Aufbau eines Windkraftwerkes im Allgemeinen	9
2.2 Verhältnisse auf dem Gotthard	11
3. ZIELE UNSERES PROJEKTES	12
4. WINDMESSUNGEN	13
4.1 Messkonzept	13
4.2 Messperiode	14
4.3 Korrelation der Winddaten und Modellierung	14
4.4 Geplante Ergebnisse nach Abschluss der Messungen	14
4.5 BISHERIGE WINDMESSRESULTATE	14
5. PROJEKTBESCHRIEB	15
5.1 Grundlagenerarbeitung	15
5.2 Team und Partner	16
5.3 Terminplanung	16
5.4 Definition des Projektperimeters	17
5.5 Etappe 1: Pilotprojekt (2 x 1.3 MW)	18
5.6 Etappe 2: Windpark (5 x 1.3 MW)	18
5.7 Landeigentümer	19
5.8 Schutzgebiete Natur	19
5.9 Sichtbarkeit von entfernten Standorten	20
5.10 Geschützte Objekte Heimatschutz/Denkmalsschutz	22
5.11 Vorbelastung des Gebietes	22
5.12 Gefahrenzonen	24

5.13	Bewohnte Gebäude und besuchte Orte	24
5.14	Einspeisemöglichkeiten für den produzierten Strom	25
6.	BISHERIGE ABKLÄRUNGEN BEI BEHÖRDEN UND VERBÄNDEN	25
6.1	ATEL AG, AET	25
6.2	Gemeinde Airolo, Patriziato	25
6.3	Generalstab	26
6.4	Fondazione La claustra	26
6.5	Naturschutzverbände Tessin (WWF, Greenpeace, ProNatura)	26
7.	WIRTSCHAFTLICHKEITSBETRACHTUNGEN	27
7.1	Kosten des Projektes	27
7.2	Rentabilität des Projektes	27
7.3	Potentielle Investoren	28
8.	AUSBLICK	29
	ANHANG: Fotodokumentation und Fotomontagen	30

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. 4 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 Gotthardpass gelegen ist. Dies wussten wir bereits vor der Aufnahme unserer Messkampagne, da Messreihen der Vergangenheit aus der unmittelbaren Nachbarschaft 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 Gotthardpasshöhe die Voraussetzungen für die Errichtung von Windkraftanlagen grundsätzlich gegeben sind. Das Gebiet ist durch die Passstrasse gut erschlossen und erreichbar. Es gibt genügend Flächen, die für die Windkraftanlagenerrichtung geeignet und von aussen schlecht oder gar nicht einsehbar sind. Mögliche Einspeisepunkte für den generierten Strom befinden sich sehr nahe, führt doch eine grosse Überlandleitung der Atel sowie Leitungen der AET und des Kraftwerkes Airola bis auf die Passhöhe. Mit Ausnahme des Hospiz, einiger Touristenrestaurants sowie den Räumen der Stiftung La Claustra 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 Zuwachsrate von mehreren Dutzend Prozent bezogen auf die installierte Windleistung keine Seltenheit sind. So waren beispielsweise Ende 2001 in Deutschland 8'100 MW, in Spanien ca. 3'200 MW und in Dänemark rund 2'500 MW an Windpower installiert. Im Alpenland Österreich beispielsweise waren es im Herbst 2001 bereits rund 95 MW, das heisst mehr als das 20-fache unseres Landes.

Die Nachfrage nach umweltgerecht produziertem Strom ist in der Schweiz gross, ja kann gar nicht gedeckt werden. Aufgrund der Strommarktliberalisierung wird es zukünftig für private Stromproduzenten 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. 5 - 10 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.

1.3 RAUMENTWICKLUNG AUF DER GOTTHARD PASSHÖHE

Zentrale und verkehrstechnisch wichtige Gebirgszonen, wie sie die Gotthardpasshöhe darstellt, sind auch laufend Nutzungsänderungen unterworfen. Nebst der 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 absehbar:

- Die Armee benützt immer weniger Infrastrukturen auf der Gotthard Passhöhe. Festungsanlagen werden geschlossen, zu Museen umgewandelt oder wie im Falle „La Claustra“ zu einem Begegnungszentrum ausgebaut. Daneben findet eine stete Reduktion des Schiessbetriebes in unmittelbarer Umgebung der Passhöhe statt.
- Neue und alte Passstrasse werden auch in Zukunft als touristische Hochgebirgsstrasse benutzt oder dienen in Notfällen als vorübergehender Ersatz für den Gotthardtunnel, wie dies erst letztes Jahr nach der Tunnelbrand-Katastrophe nötig war. 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 wird der Umbau von Festungsanlagen zu wie auch immer gearteten Zentren während der Sommermonate zu einer erhöhten Besucherzahl führen. Anhand des Angebotes kann aber erwartet werden, dass die Besucher mit Interesse an thematischen Schwerpunkten wie Energie-Wasser-Lebensraum in der Gebirgswelt angezogen werden und nicht das Erlebnis der unberührten Gebirgswelt im Vordergrund steht (was als solches seit langem nicht mehr möglich ist). Der Einbezug von Windenergie als eine wesentliche Facette in das Entwicklungsschema auf dem Gotthardpass wurde von Seiten der Stiftung „La Claustra“ begrüßt und auch die Bereitschaft angemeldet, Strom von dieser Energiequelle zu beziehen. Letzteres gilt auch für die AET, welche ebenfalls Interesse bekundet, den generierten Strom abzunehmen und zu vertreiben.
- 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 WINDMÜHLENSTANDORTEN

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.

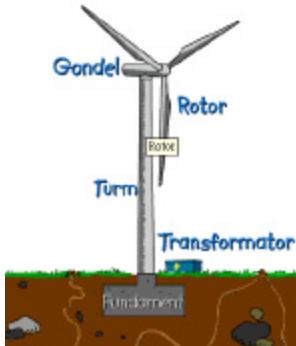
Für ein besseres Verständnis des Gesamtbauwerkes beschreiben wir kurz die nötigen Anlagen, welche es generell für den Bau und Betrieb von Windkraftsystemen braucht, bevor wir auf die Situation auf dem Gotthardpass fokussieren.

2.1 AUFBAU EINES WINDKRAFTWERKES IM ALLGEMEINEN

Folgende Anlagen und Bauten sind normalerweise nötig für den Aufbau und Betrieb von Windkraftanlagen:

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

Abbildung 1: 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 rund 1 MW 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 so genannte 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 GOTTHARD

Allfällige Standorte auf der Gotthardpasshöhe können für den Antransport natürlich von der Nähe der gut ausgebauten Passstrasse profitieren. Von dieser führen bereits heute viele verschiedene Wege und Pisten in die umliegenden Flächen. Diese müssen wo nötig auf die Bedürfnisse angepasst werden, so dass die Errichtung von neuen Zufahrtswegen auf wenige Teilstücke limitiert sein würden.

Die Anlagen auf der Gotthardpasshöhe 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 (siehe 5.11.1 und 5.14) zur Netzanbindung liegen in unmittelbarer Nähe und besitzen ausreichende Kapazitäten für eine Einspeisung der gewonnenen Energie ins lokale oder regionale Netz. Die ATEL betreibt für die lokale Energieversorgung im Hospitz bereits eine Umspannstation (von 50 kV auf 8 kV). Daneben besitzt das Militär verschiedene Umspannanlagen für ihre Bauten, und auch die AET kann via eine 8/16kV Leitung ebenfalls Strom bis auf die Passhöhe liefern.

Es ist also möglich, mit Anpassungen und allfälligen Verstärkungen der bestehenden Infrastruktur die gewonnene Energie ins Netz zu bringen.

Weitere Abklärungen mit der AET sowie den Eigentümern der bestehenden Festungsanlagen im Berg haben gezeigt, dass grundsätzlich der erzeugte Strom durch im Boden verlegte Kabel, welche teilweise durch das Bunkersystem im Fels führen können, zur Hauptstrasse auf die Passhöhe transportiert wird, von wo an das bestehende Leitungsnetz der AET angeschlossen werden könnte. Voraussichtlich ist hierfür aber ein Netzausbau erforderlich, da der existierende Querschnitt zu gering ist. Details hierzu sind zur Zeit in Abklärung.

3. ZIELE UNSERES PROJEKTES

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

- Grundlagenerarbeitung zur Errichtung von Windkraftanlagen auf dem Gotthard
- 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
- Entscheid über eine mögliche Etappierung des Projektes (Pilotprojekt und Folgeprojekt)
- Bei positivem Echo: Planung der Windkraftanlagen auf dem Gotthardpass 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 Gotthardpasshöhe ein Projekt für die Errichtung von Windkraftanlagen zur Generierung umweltfreundlichen Stromes zu errichten. Hierfür wird das Jahr 2003 ins Auge gefasst.

4. WINDMESSUNGEN

4.1 MESSKONZEPT

Damit das Windpotential am angedachten Standort auf dem Gotthardpass fundiert abgeschätzt werden kann, werden seit dem 02. Dezember 2000 standortbezogene Windmessungen auf einem Metallmast auf zwei resp. drei unterschiedlichen Höhenlevels durchgeführt. Aufgrund der klimatologischen Gegebenheiten (harte Winter, kaum Zufahrbarkeit im Winterhalbjahr) werden die Messungen teilweise mit hochwertigen geheizten Sensoren ausgeführt, und der Messmast stellt eine speziell robuste Version für extreme Standorte dar.

Ende November 2000 wurde am Messstandort ein 17 m hoher NRG Windmessmast installiert. Ursprünglich war vorgesehen, den Mast auf 30 m Höhe zu errichten, doch liessen dies die meteorologischen Bedingungen in der Woche der Installation nicht zu. Somit konnte dieser Mast erst Mitte Juli 2001 nach erfolgter Schneeschmelze auf die ursprünglich vorgesehene Höhe von 30 m über Grund verlängert werden. Dort wurden folgende Parameter gemessen:

- Windgeschwindigkeit auf zwei Höhenneiveaus (9.7 und 17.5 m über Boden). Ab Juli 2001 auf 3 Höhenneiveaus (9.7 m, 20.0 m und 30.0 m)
- Windrichtung auf 16.5 m über Grund. Ab Juli 2001 auf 30 m.
- Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit ca. 3 m über Grund
- Schneehöhe in ca. 4 m Höhe

Dieser Messmast wurde am 09. August 2002 abgebaut, nachdem genügend Daten erhoben worden sind.

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

10-m-Masten

Um die Windverhältnisse an den einzelnen angedachten Windkraftanlagenstandorten noch besser beurteilen zu können, wurde zusätzlich ein 10-m-Mast eingesetzt, welcher die Geschwindigkeiten und die Windrichtungen misst. Dieser ist nach wie vor im Einsatz.

4.2 MESSPERIODE

Aufgrund der harten klimatischen Bedingungen, die im vergangenen Winter trotz dem Einsatz hochwertiger Komponenten zu einigen Ausfällen der Sensoren führten, haben wir uns entschieden, die Messperiode von ursprünglich 12 Monaten auf ca. 20 Monate zu verlängern (vom Dezember 2000 bis August 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 nach deren Abschluss 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 ABSCHLUSS DER MESSUNGEN

Als Resultat der Messungen werden umfassende Datenreihen zu den Windverhältnissen am Standort Gotthard 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 6 m/s, ein Wert, der für die Windkraftnutzung am vorgesehenen Standort ausreichend ist. Dieser Wert beruht auf bereinigten Messdaten bis August 2002. Die Resultate sind bislang lediglich als provisorisch zu betrachten, d.h. es kann beim Abschluss der Messkampagne zu weiteren Korrekturen kommen. Grössere Sicherheit über die Windgeschwindigkeiten werden wir bekommen, wenn die Daten in einen grösseren Zeithorizont eingepasst werden können, d.h. im Herbst 2002.

5. PROJEKTBESCHRIEB

Parallel zu den Windmessungen werden die planerischen Arbeiten für ein mögliches Windenergieprojekt auf der Gotthardpasshöhe derart vorangetrieben, dass nach Abschluss der Windmessungen auch ein konkretes Konzept für die Umsetzung vorliegen wird. Dazu gehören 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 (Zufahrbarkeit, Errichtung, Unterhalt, Service), alles unter Berücksichtigung des alpinen Charakters des Projektes. Diese Arbeiten sind zur Zeit in vollem Gang und werden voraussichtlich bis zu Beginn des Jahres 2003 abgeschlossen sein.

5.1 GRUNDLAGENERARBEITUNG

Die Kontaktaufnahme mit involvierten Stellen und Interessierten soll zeigen, ob der Errichtung von Windkraftanlagen auf der Gotthardpasshöhe grosser Widerstand erwächst, der zu einer Verunmöglichung des Projektes führen würde. Mittels Meetings, Begehungen und einer offenen Informationspolitik werden die Beteiligten auf dem Laufenden gehalten und deren Standpunkte und Anregungen in unsere Betrachtungen miteinbezogen. Zusammen mit dem Institut für Orts-, Regional-, und Landesplanung der ETH Zürich (ORL) wurde auch eine Internetumfrage gestaltet, welche die visuellen Auswirkungen und die Akzeptanz anhand von (virtuell plazierten) Windkraftanlagen untersucht. Interessierte finden unter <http://n.ethz.ch/student/kulm/windkraft/titelseite.htm> den Zugang.

Bisher haben unsere Bemühungen erbracht, dass grundsätzlich ein grosses Interesse an diesem Projekt gegeben und dass bislang keine grössere Opposition feststellbar ist. Auch haben bereits einzelne Umweltorganisationen uns zu verstehen gegeben, dass sie dem Projekt positiv gegenüberstehen würden.

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 Ausführungsplanung 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.

Das Patriziato von Airolo, dem weite Flächen auf dem Gotthardpass gehören, das VBS, das dort ebenfalls Grundeigentum hat, sowie die Stiftung „La Claustra“, welche dort oben eine zentrale Rolle bei der Weiterentwicklung der Infrastruktur auf der Passhöhe innehalt, sind gegenüber unserem Vorhaben positiv eingestellt. Dasselbe gilt für die AET, welche Interesse bekundet, den generierten Strom abzunehmen und sich in noch zu bestimmender Form am Projekt zu beteiligen.

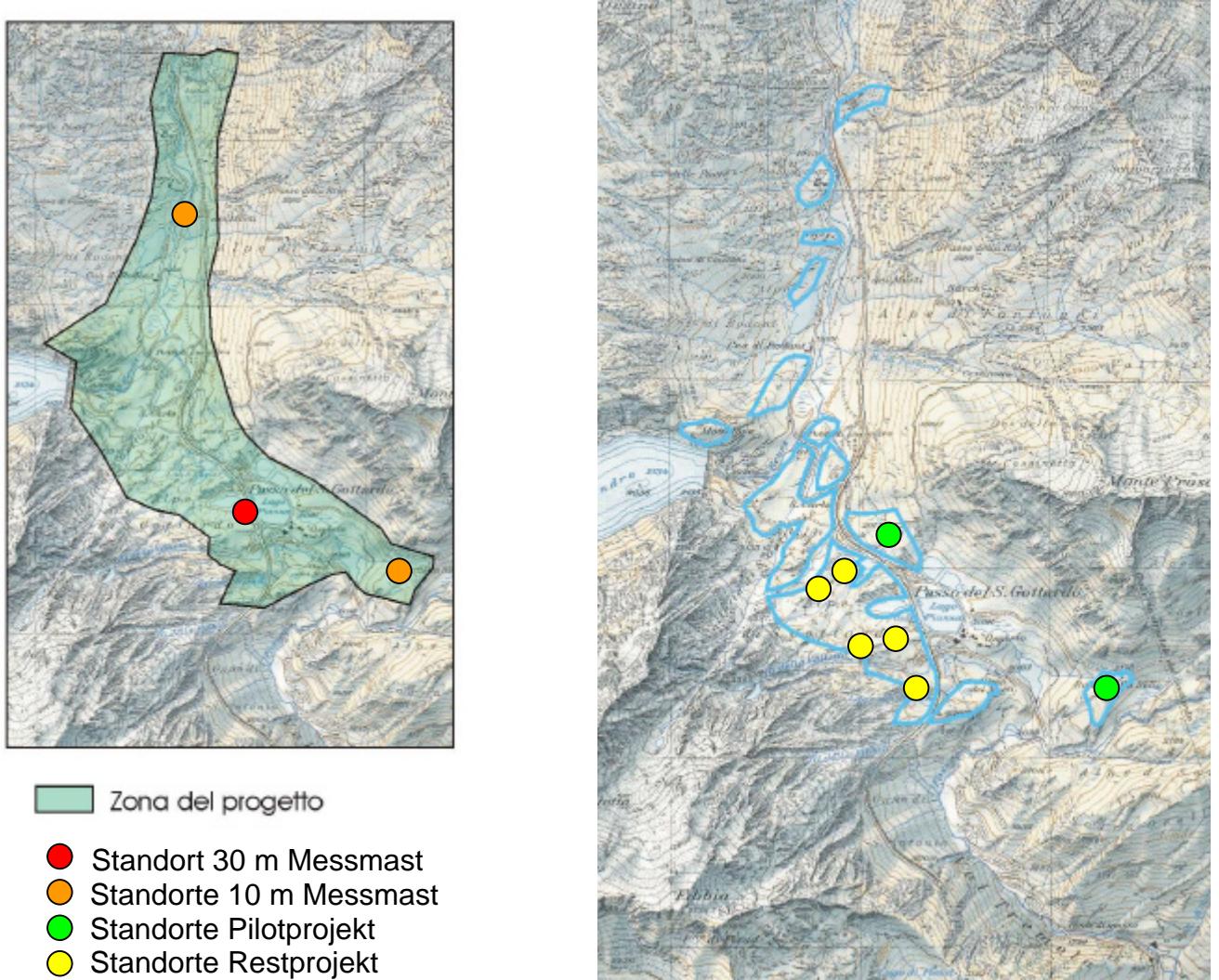
5.3 TERMINPLANUNG

Ohne Anlagenplanung und Ausführungsprojektierung der Windkraftanlagen 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 8 Monate	08.2002
Modellierung	Windpotentialabschätzung im Projektgebiet	11.2002
Vorprojekt	Klärung der Rahmenparameter zur WKA-Errichtung	07.2002
Bauvoranfrage	Eingabe Bau-Voranfrage oder Vorprojekt	08.2002
Schlussbericht	Zusammenfassung der Windmess-Ergebnisse	12.2002
1. Äusserung Kt.	Stellungnahme zur Bauvoranfrage	10.2002
Infoanlass	Orientierung der Bevölkerung	11.2002

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 Gotthard und mögliche Windzonen (blau) mit eingetragenen Standorten der Windanlagen.

Ursprünglich war lediglich ein relativ kleines Gebiet westlich der Passstrasse für die Projektierung angedacht. Zwischenzeitlich haben aber unsere Abklärungen ergeben, dass es möglich sein sollte, dieses Gebiet in nördlicher Richtung auszudehnen, da auch dort potentielle Mühlenstandorte vorhanden sind, welche zumindest aus unserer Sicht durchaus in ein Projekt miteinbezogen werden können. Genaueres hierzu kann jedoch erst dann gesagt werden, wenn mit den Grundbesitzern darüber eine Einigung erzielt worden ist.

Auch lassen viele andere Randbedingungen, wie zum Beispiel die Lawinengefahr oder Minimalabstände zu Strassen und Häusern, Einschränkungen im letztendlich nutzbaren Gebiet erwarten. Erste Reduktionen anhand von einigen dieser Randbedingungen führten zur Definition möglicher Windzonen (Karte oben rechts).

5.5 ETAPPE 1: PILOTPROJEKT (2 x 1.3 MW)

Aufgrund bewilligungstechnischer Gegebenheiten kann es erforderlich sein, das Gesamtprojekt zu etappen, d.h. zuerst nach RPG 24 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. Zudem hat der Einsatz von vorerst 2 Pilotanlagen zum Vorteil, erste technische Erfahrungen am Standort zu sammeln (extreme klimatische Bedingungen). In Bezug auf die Auswirkungen auf das Landschaftsbild kann damit der weitere Ausbau der Windenergienutzung auch besser beurteilt werden. Anhand von logistischen und technischen Kriterien haben wir diejenigen Zonen, welche generell die Windnutzung zulassen, ausgewählt und davon zwei Standorte ausgewählt, die ohne grosse Eingriffe erschlossen werden können und nicht allzu nahe bei den Gebäuden der Passhöhe stehen (siehe Plan im Anhang). Bauliche Anpassungen beruhen auf dem Ausbau vorhandener Wege an wenigen Orten, v.a. in Kurven. An den Standorten selbst müssen mit geringem Aufwand Standflächen geschaffen werden für den Pneukran und den Sattelschlepper.

Es ist vorgesehen, Windmühlen mit einer Nennleistung von 1.3 MW, einer Nabenhöhe von 68 m und einem Rotordurchmesser von 62 m einzusetzen. Der Jahresenergieertrag einer derartigen Anlage dürfte sich in der Größenordnung von ca. 1'200 MW/Jahr bewegen.

5.6 ETAPPE 2: WINDPARK (5 x 1.3 MW)

Sofern unter RPG 24 nicht das Gesamtprojekt von 7 Anlagen zu je 1.3 MW Nennleistung bewilligt wird, muss in zwei Etappen gearbeitet werden: Zuerst die erste Etappe, wie oben erwähnt, zu 2 x 1.3 MW, danach die restlichen 5 Anlagen, was dann im Endausbau eine installierte Leistung von ca. 9 MW ergeben wird. Geographisch würden sich diese Anlagen ebenfalls auf dem Passplateau befinden (siehe entsprechende Karten im Anhang).

5.7 LANDEIGENTÜMER

Das Gelände der Gotthard Passhöhe ist Eigentum des „Patriziato di Airolo“. Dieses hat eine Vereinbarung mit uns unterzeichnet, in welcher es seine Einwilligung erteilt, im vorgesehnen Perimeter Windmessungen durchzuführen und ein Projekt zu entwickeln. Kleinere Parzellen und viele Bauten gehören dem VBS. Die Wasserflächen gehören dem Kanton, und als Grundeigentümer von spezifischen Bauwerksparzellen treten die Nationalstrasse und die ATEL auf. Das Land für das Pilotprojekt gehört dem VBS (Standort 1) bzw. dem Patriziato (Standort 2), während die Standorte 3 - 7 dem Patriziato gehören.

5.8 SCHUTZGEBIETE NATUR

Anhand des „Piano regolatore, Piano del paesaggio“ der Gemeinde Airolo sind die geschützten Gebiete bekannt. Es handelt sich dabei vornehmlich um Gewässer mit Uferbereichen und Flachmoore (Torbiere basse).

Im einzelnen sind folgende Objekte bekannt:

5.8.1 Amphibienreproduktionszonen im kantonalen Inventar

(Siti di riproduzione degli anfibi)

Im Perimetergebiet

- A-64 Alpe S. Gottardo
- A-65 Passo S. Gottardo
- A-66 Lago Scuro
- A-67 Lago dell’Ospizio
- A-68 Capella die Morti

In der Nähe des Perimetergebietes

- A-69 C.na della Bolla
- A-73 Alpe di Sorescia

5.8.2 Flachmoore von kantonaler Bedeutung

Paludi (torbiere bassa) di importanza cantonale

Im Perimetergebiet

- P-2421 Lago dell'Ospizio (A67)
- P-2463 Sustenegg
- P-2464 Ponte di Lucendro

In der Nähe des Perimetergebietes

- P-2422 Alpe di Sorescia (= A73)
- P-2423 Capanna della Bolla (=A69)
- P-2465 Lago di Lucendro
- P-2466 Alpe di Fortunei

Einige Gebiete überlappen sich oder sind deckungsgleich mit Amphibienschutzgebieten (gekennzeichnet mit AXX).

5.8.3 Berücksichtigung der Schutzgebiete

Windkraftwerke sind Bauwerke, die sehr wenig Fläche beanspruchen und aus technischen und aerodynamischen Gründen gewisse Mindestabstände untereinander einhalten müssen. Auch sind Minimalabstände zu Freileitungen, Strassen und Gebäuden einzuhalten. Deshalb fällt es leicht, die vielen eher kleineren Schutzgebiete auf der Gotthardpasshöhe voll zu respektieren. Ausserdem sind viele Schutzgebiete in unmittelbarer Nähe zu Strassen oder Gebäuden sowie unter und gerade neben Freileitungen und deshalb als Standorte für Windkraftanlagen ohnehin ausgeschlossen.

Kuppenlagen sind normalerweise windreicher und deshalb als Anlagenstandorte viel besser geeignet als Muldenlagen. Ein Konflikt mit den Schutzgebieten der Flachmoore und den Seelen, welche sich meistens in Muldenlagen befinden, ist von daher im vorliegenden Fall nicht gegeben.

5.9 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 Gotthardpasshöhe sind die visuellen Beeinträchtigungen im Vergleich zu anderen Standorten äusserst gering. Von aussen ist das Gebiet sehr 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 haben wir einige Fotomontagen erstellt, die einzelne virtuell plazierte Windmühlen zeigen (siehe Anhang). Sobald mehr Klarheit über die Lage und Anzahl der einzelnen Standorte besteht, werden wir weitere Fotomontagen und Visualisierungen erstellen.

5.10 GESCHÜTZTE OBJEKTE HEIMATSCHUTZ/DENKMALSCHUTZ

Einige kulturhistorische Monuments auf dem Gotthardpass sind unter Schutz. Im einzelnen sind dies die gesamte alte Passtrasse (mit Teilstück Tremola) sowie die Gebäude des Hospiz. In naher Zukunft werden ev. auch einige Festungsanlagen (z. Bsp. Artilleriefestung Sasso) unter Schutz gestellt. Ein direkter Einfluss des Windkraftprojektes auf die geschützten Objekte findet nicht statt. Inwiefern die Nachbarschaft zu den genannten Objekten ein Problem darstellen könnte, kann nicht ohne grosse Umstände mit klaren Kriterien bewertet werden. Die Problemstellungen sind ähnlich wie diejenigen in Kapitel 5.9 vorstehend.

5.11 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.

5.11.1 Bauliche Vorbelastung und optische Vorbelastung

Betrachtet man die Situation auf der Passhöhe, so findet man eine Vielzahl von Bauwerken, welche den verschiedensten Zielsetzungen dienen und auch verschiedene schwere Landschaftseingriffe darstellen. Die Eingriffe haben sowohl optische Auswirkungen als auch Terrainveränderungen bewirkt.

Staumauern

- Staumauer des Lago di Lucendro, am Eingang zum Seitental Valle di Lucendro.
- Staumauer des Lago della Sella, ca. 2 km östlich der Passhöhe.

Strassen und Wege

- Neue und alte Passstrassen führen aus Airolo vom Süden nach Norden ins Urserental. Speziell für die neue Passtrasse sind verschiedenste Kunstbauten (Tunnels, Brücken und Galerien) errichtet wie auch grössere Terrainbewegungen ausgeführt worden.
- Zufahrtswege zu den Staumauern Lucendro und Sella.
- Einige Wege und Pisten führen von und zu militärischen Bauten, welche an verschiedenen Orten rund um die Passhöhe zu finden sind.
- Parallel zu der alten Passstrasse verläuft ein Wanderweg von Süden nach Norden über den Gotthardpass. Der Landschaftseingriff ist jedoch sehr gering.

Häuser und Militärische Bauten

- Auf der Passhöhe stehen das historische Hospiz sowie andere Gebäude, die im Laufe der Zeit in seiner Nähe gebaut wurden. Die meisten Gebäude sind unbewohnt, die Restaurants nur während der Touristensaison (Sommer) in Betrieb.
- Bei Radont befinden sich unmittelbar neben der alten Passstrasse einige im Sommer benutzte Alphütten.
- Die Schweizer Armee unterhält eine Vielzahl von Bauten im Gotthardmassiv. Im Gebiet der Passhöhe befinden sich einige Eingänge zu Gebirgsunterkünften, welche sich meist als eine halb im Berg versenkte massive Betonkonstruktion manifestieren.

Leitungsmasten

- Zwei alpenquerende Hochspannungsleitungen überqueren den Gotthardpass. Im engeren Bereich des Hospiz sind sie gemeinsam geführt.
- Kleinere Leitungen zur Versorgung des Hospiz sowie der elektrischen Anlagen bei der Lucendrostaumauer reichen in den Perimeter.

5.11.2 Nutzungsbedingte Vorbelastungen

- Als wichtigster nutzungsbedingter Eingriff auf der Gotthardpasshöhe ist das militärische Wirken zu nennen. Die ganze Passhöhe sowie viele Seitentäler und Talhänge sind militärisches Gebiet. Die Nutzungsintensität ist heutzutage geringer als früher. Die Artilleriestellungen sind fast aufgegeben und auch die Festungsanlagen werden laufend weniger rege benutzt. Auf der westlichen Seite der Passstrasse ist aber nach wie vor ein Gefechtsschiessplatz, auf welchem mit leichten Waffen und Handgranaten trainiert wird.
- Die landwirtschaftliche Nutzung beginnt im Norden erst im Bereich der Ponte di Lucendro und beschränkt sich vorwiegend auf die Viehhaltung.

5.12 GEFAHRENZONEN

Grosse Teile des nördlichen Perimeters unseres Gebietes befinden sich laut des „Piano regolatore; Piano del paesaggio“ der Gemeinde Airolo in Gefahrenzonen. Während nur die steileren Hangpartien der Steinschlaggefahr ausgesetzt sind, betrifft die Lawinengefahr grössere Zonen. Für die genaue Standortbestimmung der Windkraftanlagen wird ein Gutachten erstellt, welches den Gefährdungsgrad und die zu erwartenden Bauwerksbelastungen abklärt.

5.13 BEWOHNTE GEBÄUDE UND BESUCHTE ORTE

Auf der Passhöhe befinden sich keine ganzjährig bewohnten Gebäude. Die Restaurants, das Hospitz und die Alphütten sind nur im Sommer bewohnt (~ Mai bis Oktober). Die militärischen Anlagen sind nur temporär bewohnt.

Die grösste Besucherdichte trifft man im Sommer an, wenn die Passstrasse viele Auto-, Fahrrad- und Motorradfahrer anlockt. Nach der Bergankunft kehren viele Passbegeher im Restaurant ein, versorgen sich mit etwas Kulinarischem an den Imbissständen oder lassen sich für ein Picknick nieder. Der Schwerpunkt dieser Aktivität liegt eindeutig in unmittelbarem Umkreis des Gotthard Hospitz, östlich der Passtrasse.

Der Wintertourismus beschränkt sich auf einige Skitourenrouten zur Besteigung des Monte Prosa, des P. Lucendro, der Fibbia, des Winterhorns und des P. Centrale.

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

5.14 EINSPEISEMÖGLICHKEITEN FÜR DEN PRODUZIERTEN STROM

Wie bereits unter Ziffer 5.11.1 erwähnt, sind etliche Stromleitungen mit unterschiedlichen Spannungsebenen im Gebiet vorhanden. ATEL, AET, das lokale EW von Airolo wie auch das Militär haben eine Vielzahl von elektrischen Installationen errichtet. Eine Anbindung ans Netz wie auch die Produktion für den Eigengebrauch der Konsumenten auf der Passhöhe (La Claustra, Hospiz, Militär etc.) wird ohne neue Freileitungen möglich sein. Der Eigenverbrauch auf dem Gotthardpass wird aufgrund der Stromrechnungen zu ca. 800 bis 1'500 MWh pro Jahr geschätzt.

6. BISHERIGE ABKLÄRUNGEN BEI BEHÖRDEN UND VERBÄNDEN

Bezüglich dieses Projektes haben bereits Gespräche mit verschiedenen Kreisen und Instanzen stattgefunden. Zusammenfassend lässt sich das Erreichte kurz wie folgt beschreiben:

6.1 ATEL AG, AET

Da die Nachfrage nach Ökostrom zur Zeit in der Schweiz nicht gedeckt werden kann, besteht grundsätzlich Interesse an der Abnahme von windgeneriertem Strom. Die Überlandleitung, welche über den Gotthardpass führt, gehört der Atel AG (Aar e Ticino SA di Electrictta). Zudem gibt es bis auf die Passhöhe andere Leitungen, welche kleineren Elektrizitätsgesellschaften gehören (AET und Kraftwerke Airolo AG). Mit den Elektrizitätsgesellschaften wurden bereits direkte Gespräche geführt und es wurde generell ein grosses Interesse am Projekt bekundet. Es dürfte kein Problem darstellen, den generierten Strom zu verkaufen.

6.2 GEMEINDE AIROLO, PATRIZIATO

Mit der Gemeinde Airolo haben bereits mehrere Gespräche stattgefunden. Demnach besteht grundsätzlich eine positive Haltung der dortigen Öffentlichkeit gegenüber dem Projekt, obwohl nicht zu erkennen ist, dass eine gewisse Skepsis bei einzelnen Vertretern vorhanden ist, die mit sachlichen Argumenten aber überwunden werden kann.

Unsere Gespräche mit der Gemeinde werden fortgesetzt und intensiviert, so dass mittlerweile eine konkrete Absichtserklärung vorliegt, welche die positive Haltung der Gemeinde zum Projekt zum Ausdruck bringt.

6.3 GENERALSTAB

Das Projektgebiet liegt in unmittelbarer Nähe von ehemals oder noch immer militärisch genutzten Anlagen. Auch gehören Teile des Bodens, sofern das Projekt ausgeweitet würde, dem Generalstab resp. ist von diesem gepachtet. Gemäss Aussagen der Gemeinde Airolo werden von Seiten des Militärs keine grossen Einwände vorgebracht. Nichtsdestotrotz wurden auch Gespräche mit dieser Partei bereits aufgenommen.

6.4 FONDAZIONE LA CLAUSTRA

Diese Stiftung baut eine der vielen, im Bereich der Passhöhe gelegenen Unterstände zu einem einzigartigen Begegnungszentrum aus. Da dieses Zentrum zukünftig ganzjährig genutzt werden soll, weist es einen relativ hohen Stromverbrauch auf. Der Initiator und Verantwortliche dieses Projektes, Herr Jean Odermatt, unterstützt unser Projekt und hilft tatkräftig mit, der Gotthardregion neue Perspektiven aufzuzeigen. Es besteht die Absicht, dass ein Teil des generierten Stromes direkt von dieser Stiftung abgenommen werden kann.

6.5 NATURSCHTUZVERBÄNDE TESSIN (WWF, GREENPEACE, PRONATURA)

In Gesprächen, mit Dokumentationen und anhand einer Präsentation am 17. September 2002 wurde den Vertretern dieser Organisationen das Projekt vorgestellt. Das Echo war grundsätzlich positiv, grössere Einwände wurden nicht vorgebracht. Anliegen von dieser Seite sind die Beeinträchtigung des Schneehuhnbestandes, was durch eine Studie der Vogelwarte Sempach untersucht werden soll, und die Schonung der Humusschicht aus Erosionsgründen bzw. die Rückführung des abgetragenen Bodens nach der Bauphase an seinen Platz. Der Tenor lautete aber: Wenn im Tessin nicht auf dem Gotthard ein Windenergieprojekt umgesetzt werden kann, dann wo?

7. WIRTSCHAFTLICHKEITSBETRACHTUNGEN

7.1 KOSTEN DES PROJEKTES

Anhand von Erstellungskosten anderer Windkraftanlagen kann eine erste Kostenabschätzung gemacht werden. Dazu konnten wir die tatsächlichen Kosten der Anlage Gütsch (bei Andermatt) hinzuziehen, deren Fundament und Zuwegung im letzten Jahr erstellt wurden und welche im Sommer 2002 errichtet wurde. Selbstredend wird ein Projekt wirtschaftlicher, je mehr Anlagen pro Standort aufgestellt werden können. Im vorliegenden Fall ist davon auszugehen, dass sich die Kosten pro installiertes MW in der Größenordnung von ca. CHF. 2.0 - 2.3 Mio. bewegen dürften, wobei hier noch im Detail die Kosten für die Netzanbindung zu kalkulieren wären.

Der überwiegende Anteil der Erstellungskosten wird für die Anlage selbst gebraucht. Im Vergleich zu anderen wintersicheren Anlagen wurde auf dem Gütsch eine Flachland-Windmühle auf die Gebirgsverhältnisse angepasst, was sicher auch entsprechende Auswirkungen auf die Kosten hatte. Je nach Anzahl der Windmühlen und deren Leistung werden die Kosten variieren.

7.2 RENTABILITÄT DES PROJEKTES

Betrachtet man die Aufwendungen für die Errichtung und den Betrieb einer Windkraftanlage im Gebirge, so liegen diese höher als die Kosten für eine gleichwertige Anlage im Flachland. Da aber im Schweizer Mittelland der Wind für eine rentable Nutzung nicht ausreichend ist sowie durch die dichte Besiedlung auch nur wenige Standorte überhaupt in Frage kämen, machen in der Schweiz Windmühlen im Gebirge durchaus Sinn. Nur an wenigen Standorten in den Alpen stimmen alle Parameter, welche für ein machbares und rentables Windkraftprojekt nötig sind (Zuwegung, Netzanschluss, genügend Wind). Einer davon ist die Gotthardpasshöhe, so dass dieses Projekt unbedingt umgesetzt werden muss.

Höhere Kosten können natürlich nur dann in Kauf genommen werden, wenn die Erlöse für den Verkauf des produzierten Stromes für die Amortisation der getätigten Investitionen, die Reparaturen, den Unterhalt sowie den Kapitaldienst ausreichen. Die von Schweizer Konsumenten bezahlten Preise für Strom aus erneuerbaren Energiequellen liegen etliches über den Strompreisen aus konventionellen, nicht erneuerbaren Quellen.

Durch internationale Verpflichtungen und selbstauferlegte Ziele werden Staat und Wirtschaft auch über die nahe Zukunft hinaus reges Interesse an grünem Strom bekunden. Die Nachfrage an Windstrom wird dabei noch über längere Zeit das Angebot übertreffen. Heute wird die eingespiesene kWh mit mindestens CHF. 0.16. Zuzüglich Gratistransport entschädigt. Allerdings zahlen umweltbewusste Abnehmer z. Bsp. des Windstromes der Windkraftanlagen Mont Crosin pro kWh ca. CHF. 0.35. Bekanntlich kann Solarstrom gar zu Preisen von über CHF. 0.9 / kWh verkauft werden.

Wir gehen davon aus, dass die Gestehungskosten für Windstrom auf dem Gotthard bei CHF. 0.28 - 0.35 /kWh liegen werden. Genaueres hierzu kann erst nach Vorliegen weiterer Berechnungen gesagt werden.

7.3 POTENTIELLE INVESTOREN

Es sind von uns bereits mehrere mögliche Investoren identifiziert worden, welche gerne in das Projekt einsteigen und dieses auch realisieren möchten. Details hierzu können jedoch erst nach Unterzeichnung der entsprechenden Verträge präsentiert werden.

Grundsätzlich gilt, dass aufgrund der zu erwartenden, verhältnismässig hohen mittleren Windgeschwindigkeiten das Interesse von Finanzgebern, Elektrizitätsgesellschaften oder Betreibern gross ist, sich in der einen oder anderen Form an diesem Vorhaben beteiligen zu wollen. Sobald von den Behörden und den Leitungseignern das Projekt gutgeheissen wird, werden wir auf diese Kreise zugehen.

8. AUSBLICK

Das Gesamtprojekt von 7 Windmühlen zu jeweils 1.3 MW Nennleistung wurde nach den Vorabklärungen vorerst etappiert. Eine erstes Pilotprojekt sieht vor, nach RPG 24 2 Anlagen zu errichten und die weiteren Anlagenstandorte in einer zweiten Phase zu projektieren. Die Verlängerung der Messperiode um ein weiteres Winterhalbjahr verzögerte alle Termine um mindestens einige Monate. Daneben stellt ein grosser Unsicherheitsfaktor 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 über unseren Erwartungen. Bereits jetzt kann gesagt werden, dass mit einer aufgrund der vorliegenden Ergebnisse abgeschätzten, mittleren jährlichen Windgeschwindigkeit von über 6.0 m/sec auf Nabenhöhe die Voraussetzungen zur Realisierung eines Projektes für Schweizer Verhältnisse gut sind.

NEK UMWELTTECHNIK AG

Dr. Ch. Kapp

P. Schwer

Anhang: Fotodokumentation und Fotomontagen

Zürich, 23. September 2002 Ps/Br/Kp/re

FOTODOKUMENTATION UND FOTOMONTAGEN



Bild 1 und 2 : Messmast 17 m und Wartungsarbeiten im Winter



Bild 3: Der Mast auf dem Gotthardpass im Winter aus der Luft

Fotomontagen Windpark mit mehreren Standorten



Bild 4: Fotomontage virtuelle Windkraftanlagen auf der Gotthard-Passhöhe



Bild 5: Fotomontage virtuelle Windkraftanlagen auf der Gotthard-Passhöhe

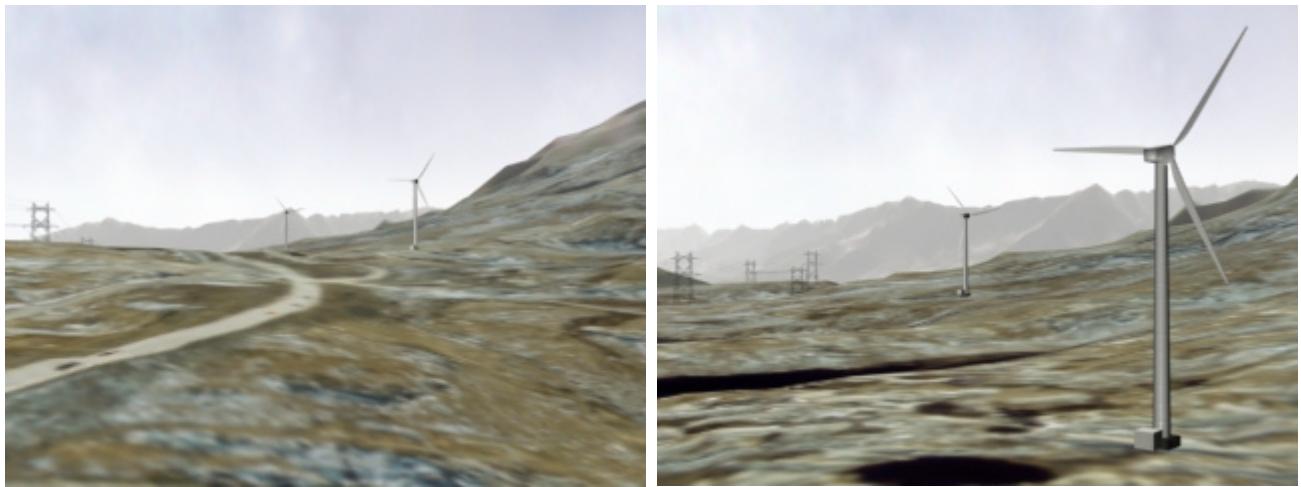


Bild 6 und 7: 3D-Visualisierung von Windkraftanlagen. Standort fern der Anlagen und nahe der Anlagen.)

Fotomontagen Pilotprojekt mit 2 Standorten



Bild 8: Fotomontage virtuelle Windkraftanlagen auf der Gotthard-Passhöhe (Standort 2)



Bild 9: Fotomontage virtuelle Windkraftanlagen auf der Gotthard-Passhöhe (Standort 2)



Bild 10: Fotomontage virtuelle Windkraftanlagen auf der Gotthard-Passhöhe (Standort 2)



Bild 11: Fotomontage virtuelle Windkraftanlagen in der Nähe der Passhöhe (Standort 1).



Abbildung 1: Ausschnitt Landeskarte 1 : 25'000 mit den 7 eingetragenen Standorten der vorgesehenen Windmühlen 1.3 MW.