Ermittlung des Windenergiepotentials am Standort Kirchleerau-Kulmerau

Ertragsberechnungen
für vier Windenergieanlagen

JH Wind GmbH
Johannes Hagemann

Lindenbergstraße 12
79199 Kirchzarten
Tel. 0049 (0)761/9895304

Amtsgericht Freiburg HRB 708246
Geschäftsführer: Johannes Hagemann

Auftraggeber:
LUVENTA GmbH
Obertannenberg
CH-6214 Schenkon

Inhaltsverzeichnis:

1.	Vorbemerkung zum Gutachten	3
2.	Lagebeschreibung und Karten	5
3.	Beurteilung der Basisdaten	16
4.	Vorgehensweise	20
5.	Die Windverhältnisse am begutachteten Standort	26
6.	Langzeitkorrelation	31
7.	Ergebnisse der Berechnungen	34
8.	Unsicherheitsfaktoren	35
9.	Einschätzungen zur Nutzung des Standorts	38
10.	Schlussbemerkungen zum Gutachten	39

Anhang:

Bericht der Messung

Leistungskennlinien der Windenergieanlagen

Turbulenztabellen

1. Vorbemerkung zum Gutachten

Am Standort Kirchleerau-Kulmerau sollen in diesem Windgutachten die Windverhältnisse ermittelt und für die geplanten Windenergieanlagen, im folgenden WEA genannt, die Erträge errechnet werden.

Die Erträge werden für den WEA-Typ Enercon E 82 mit einer Nennleistung von 2.000 kW und einer Enercon Typ E82 mit einer Nennleistung von 2.300 kW berechnet, jeweils mit einem Rotordurchmesser von 82 m. Die Berechnungen erfolgten für möglichen Nabenhöhen von 85 m, 98 m und 108 m.

Auf der Gemarkung Schlierbach wurde von der LUVENTA GmbH eine Windmessung durchgeführt. Die Windmessung begann am 2. September 2007 und wurde am 23. September 2008 beendet. Bei einer Windmessung ist der Zeitraum eines Jahres sinnvoll, längere Zeiträume sind von Vorteil.

Zusätzlich zu den Messungen am Standort Schlierbach wurden die Daten von weiteren meteorologischen Stationen hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit für eine Langzeitkorrelation betrachtet. Dabei wurden verschiedene Messstandorte besichtigt und die möglichen Einflüsse des Geländes auf die Messungen betrachtet.

Messungen der LUVENTA GmbH an anderen Standorten im Mittelland wurden analysiert, die ebenfalls mit den Qualitätsanforderungen der Windenergienutzung erhoben wurden.

Erste Datenauswertungen erfolgten mit der Software WindPRO Version 2.9, hauptsächlich kam die Software WindSim Version 6.0 der Firma Vektor zum Einsatz, die speziell für komplexes Gelände entwickelt wurde.

Der wirtschaftliche Betrieb einer WEA ist von zahlreichen Faktoren abhängig, wie etwa dem Preis der WEA, der Finanzierung und den Wartungskosten etc. In diesem Gutachten sollen jedoch nur die möglichen Erträge der WEA ermittelt werden. Weitere Faktoren der Wirtschaftlichkeit sind nicht Gegenstand dieses Gutachtens.

Dieses Gutachtens wurde entsprechend folgender Richtlinie angefertigt.

Technische Richtlinie für Windenergieanlagen

Teil 6 - Bestimmung von Windpotential und Energieerträgen

Revision 8 19.05.2011

Herausgegeben von:

FGW e.V. - Fördergesellschaft Windenergie

und andere Erneuerbare Energien

2. Lagebeschreibung und Karten

Der Standort liegt im Mittelland im Kanton Luzern, 3,5 km nördlich von Triengen, 11 km nördlich von Sursee und 35 km südwestlich von Zürich.

Der Jura begrenzt das Mittelland in einer Linie, die in etwa von Genf über den Neuenburger See entlang der Aare etwa bis zu dem Punkt verläuft, an dem die Limmat in die Aare mündet. Während der Jura von Südwest nach Nordost verläuft, befinden sich südlich der beschriebenen Grenze des Juras Höhenzüge des Mittelandes, die zumeist ähnlich wie der Höhenzug des Standorts, von SSW nach NNO verlaufen.

Im Süden wird das Mittelland durch die Alpen und weitere Berge, wie etwa dem Napfgebiet begrenzt. Die südliche Grenze des Mittellandes verläuft vom Südwesten nach Nordosten in etwa einer Linie folgend, die sich vom Genfer See über Freiburg, Napf, Zuger See über den Züricher See bis zum Bodensee erstreckt. Im Nordosten wird das Mittelland durch den Schwarzwald, die Schwäbische Alb und den Bodensee begrenzt.

Der Jura folgt mit seinem Verlauf der Richtung, aus der ein hoher Anteil des Windes kommt. Hauptwindrichtung sind die südwestlichen Winde. Die beschriebenen Berge des Mittellandes verlaufen eher senkrecht zur Hauptwindrichtung. Es ist somit möglich, dass der Jura mit seinen Höhen, die teilweise über 1.600 m betragen, die Winde aus den südlichen bis südwestlichen Richtungen kanalisiert. Die Berge des Mittelandes dagegen, auf die diese Winde etwa im rechten Winkel treffen, verursachen durch Hangeffekte auf ihren Kämmen eine Erhöhung der Windgeschwindigkeiten.

Auch die Berge der Alpen und andere Berge, die eine südliche Grenze des Mittelandes bilden, können eventuell auf westliche Winde kanalisierend wirken, aber auch Barrieren für Winde aus östlichen, südlichen bis südwestlichen Richtungen darstellen.

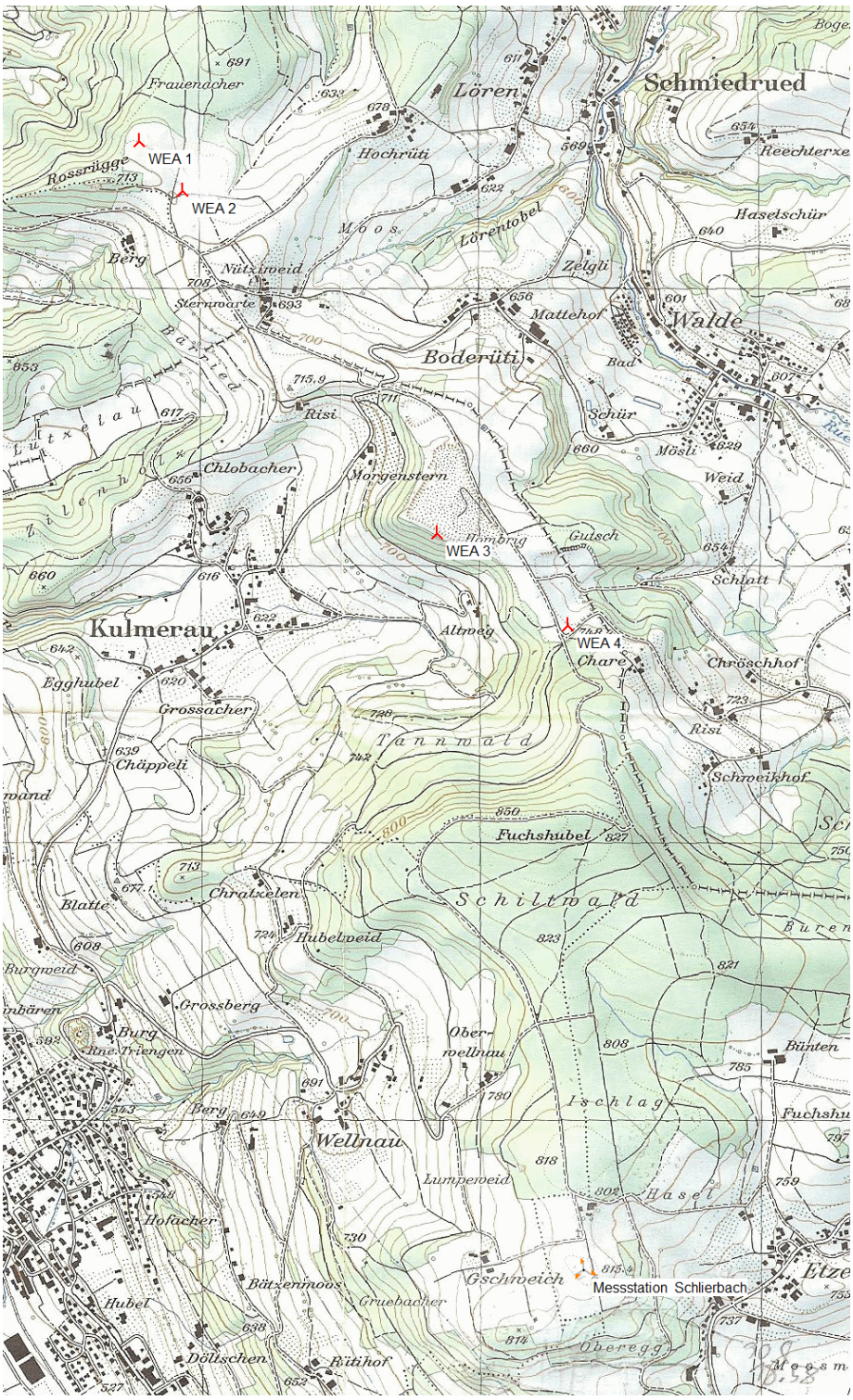
Somit ist es möglich, dass es im Mitteland für den Wind eine Kanalisation gibt, die sich vom Genfer See im Südwesten bis zum Bodensee im Nordosten erstreckt. Neben der Hauptwindrichtung Südwesten sind auch Winde aus dem Osten für die Standorte im Mittelland von Bedeutung. Es ist zu erwarten, dass

auch eine relativ freie Anströmung aus westlichen und östlichen Richtungen besteht, da sich in diesen Richtungen kaum Barrieren befinden, anders als bei den Höhenzügen, die sich weiter südlich von Schmiedrued befinden.

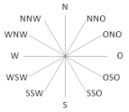
Standortkoordinaten

	Recht	Nord	Höhe über NN
WEA 1 Kirchleerau:	648.783	235.526	695,0 m
WEA 2 Kirchleerau:	648.938	235.350	702,0 m
WEA 3 Kulmerau:	649.849	234.115	735,8 m
WEA 4 Kulmerau:	650.316	233.782	749,9 m
Messstandort Schlierbach:	650.367	231.462	815,0 m
Messstandort Uetliberg:	679.450	245.050	854,0 m

Bezugssystem: CH 1903, Erdellipsoid von Bessel 1841



Karte 1: Standort der WEA 1 bis 4 und die Messstation Schlierbach (Raster 1 km)



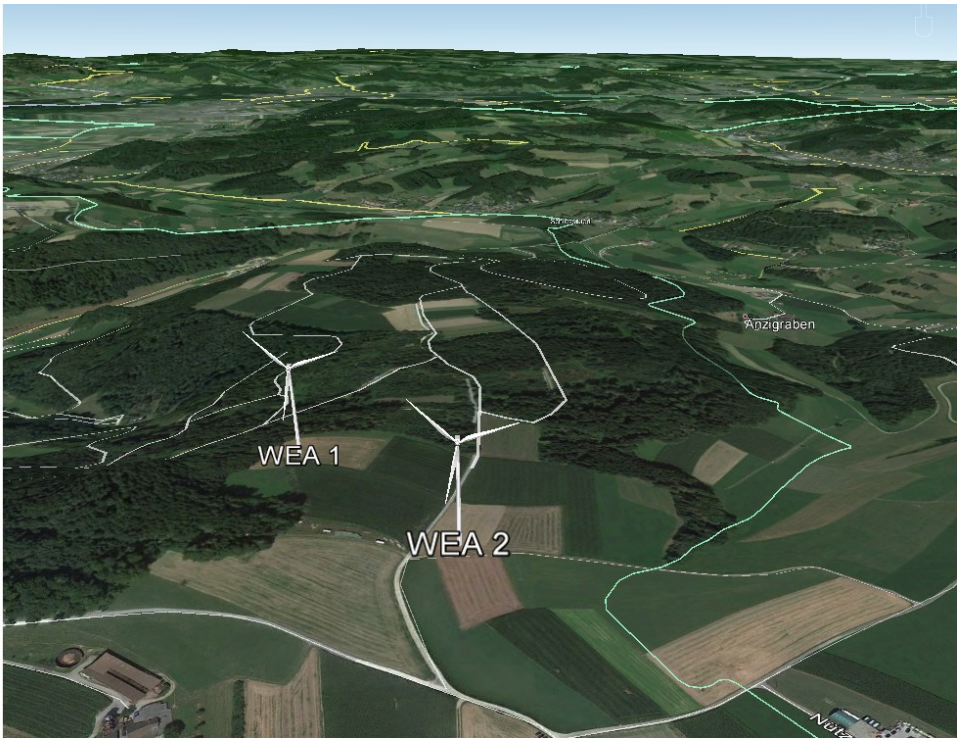


Abbildung 1: WEA 1 und 2

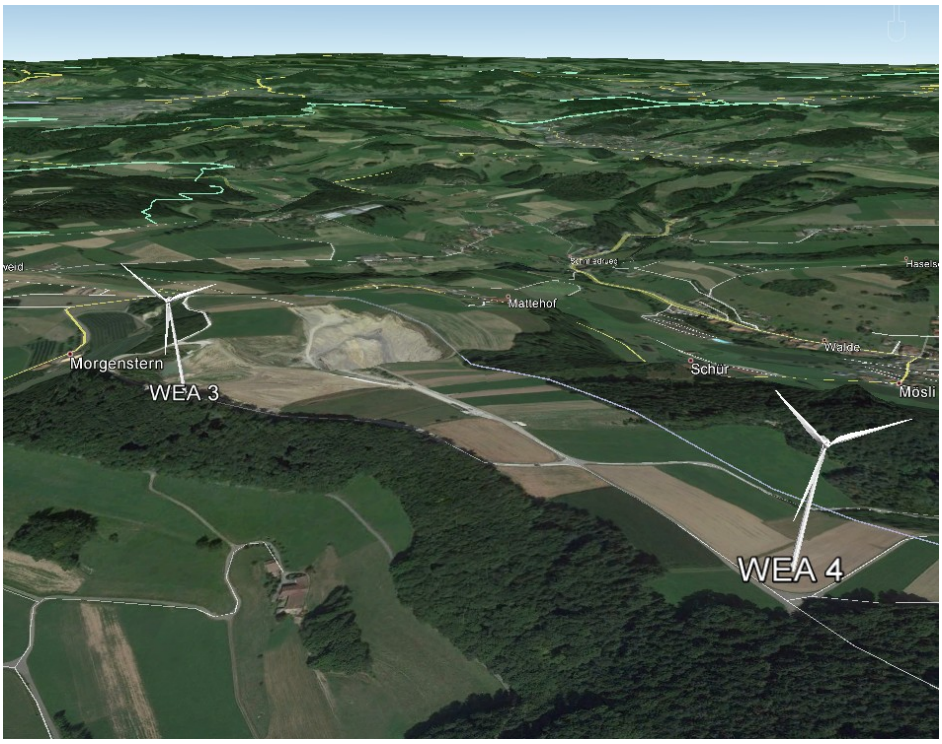


Abbildung 2: WEA 3 und 4

Abbildung 3: Messstation Schlierbach im Hintergrund WEA 1 bis 4

Foto 1: WEA 1 Kirchleerau, aus südlicher Richtung

Foto 2: WEA 1 Kirchleerau, aus nordöstlicher Richtung

Foto 3: WEA 2 Kirchleerau, aus südlicher Richtung

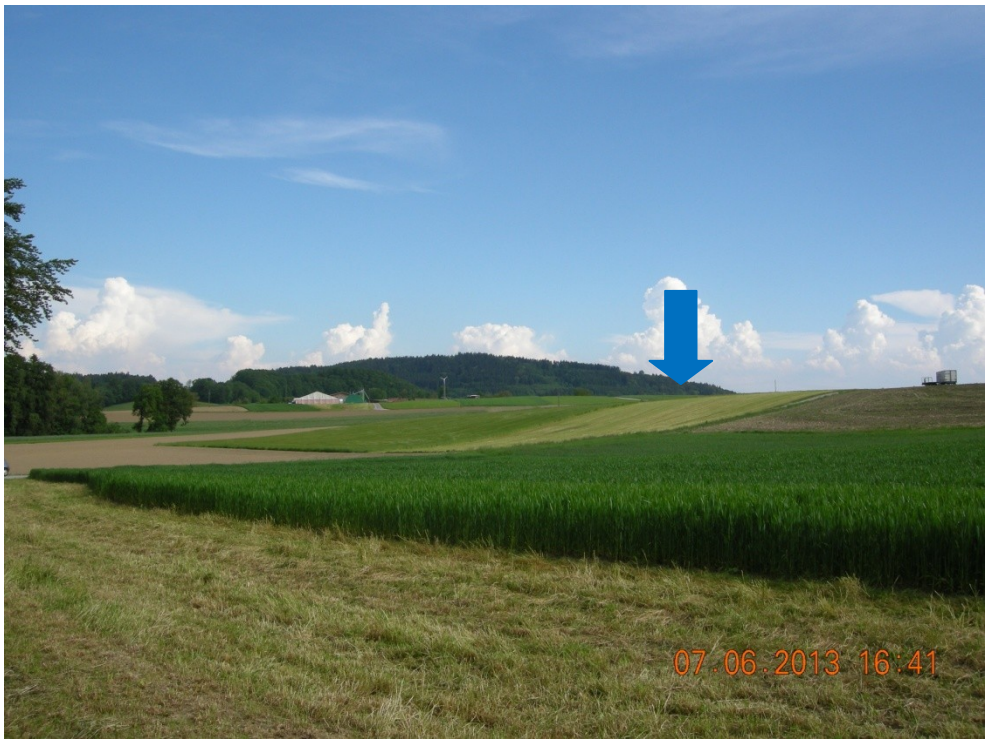


Foto 4: WEA 2 Kirchleerau 2, aus nordwestlicher Richtung

Foto 5: WEA 3 Kulmerau, aus südlicher Richtung

Foto 6: WEA 3 Kulmerau, aus südwestlicher Richtung

Foto 7: WEA 4 Kulmerau, aus nördlicher Richtung

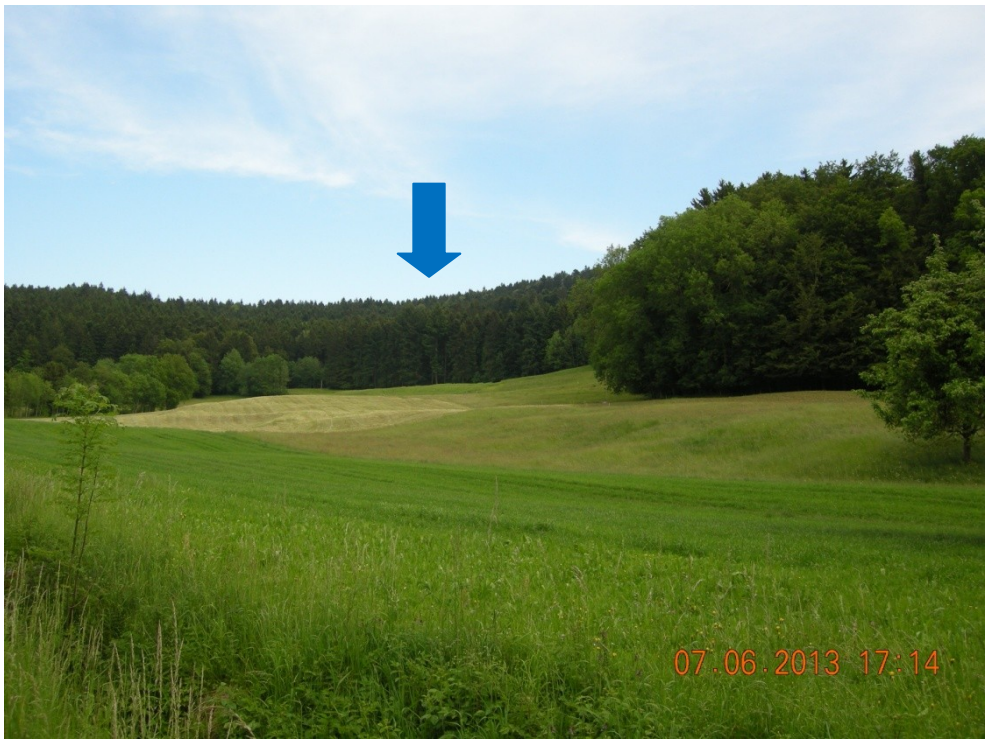
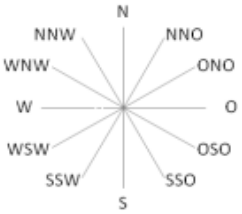


Foto 8: WEA 3 Kulmerau, aus südwestlicher Richtung

Die nähere Umgebung der WEA

Beschrieben werden die Geländebedingungen der drei Sektoren, die eine besondere Bedeutung bei der Energieproduktion haben.



WEA 1

Sektor W: Bewaldeter Höhenzug, geringer Anstieg des Geländes, eher kaum positive Auswirkungen auf die Windverhältnisse.

Sektor WSW: In der näheren Umgebung Waldstück und leichter Abfall des Geländes, was die Windgeschwindigkeit vermindern kann. In weiterer Entfernung Höhenzüge, die quer zur Windrichtung verlaufen und sich eher mindernd auf die Windgeschwindigkeit auswirken.

Sektor ONO: Leichter Anstieg des Geländes mit eher positiver Auswirkung, hohe Rauhigkeiten durch Wald.

WEA 2

Sektor W: Teilweise in Richtung NNW Höhenzug der sich mindernd auswirkt. In Richtung WSW können sich aber Hangeffekte positiv auswirken.

Sektor WSW: Der Anstieg des Geländes führt zu positiven Hangeffekten.

Sektor ONO: Der Anstieg des Geländes führt zu positiven Hangeffekten.

WEA 3

Sektor W: Hangneigungen führen zu einer Erhöhung der Windgeschwindigkeit, ein vorgelagerter Höhenzug nördlich von Kulmerau wirkt sich eher mindernd aus. Der bewaldete Hang direkt vor der WEA weist eine sehr hohe Hangneigung auf, die zu Strömungsabrissen führen kann, was sich eher negativ auswirkt. Der Wald wirkt als Hindernis.

Sektor WSW: Hangneigungen führen zu einer Erhöhung der Windgeschwindigkeit, der bewaldete Hang direkt vor der WEA wirkt als Hindernis, insgesamt hat das Gelände eher einen positiven Einfluss.

Sektor ONO: Hangneigungen führen zu einer Erhöhung der Windgeschwindigkeit, die nähere Umgebung mit Wiesen weist geringe Rauhigkeiten auf. Die Kiesgrube in unmittelbarer Nähe kann sich mit der Hohlform auf die Windverhältnisse auswirken.

WEA 4

Sektor W: Die Form des Tals verläuft in der Richtung des Sektors, zusammen mit dem Anstieg des Geländes wirkt sich das positiv aus. Wälder haben eine Hinderniswirkung.

Sektor WSW: Hangeffekte haben eine positive Auswirkung, allerdings weist das Gelände Höhenzüge auf, die sich mindernd auswirken können. Insgesamt hat das Gelände eher eine positive Auswirkung, jedoch nicht so stark wie im Sektor W.

Sektor ONO: Ansteigendes Gelände wirkt sich positiv auf die Windverhältnisse aus.

3. Beurteilung der Basisdaten

Einem Windgutachten, das eine Aussage über mittlere Windgeschwindigkeiten und mögliche Erträge liefern soll, müssen langjährige Windmessungen zugrunde liegen. Bei den Windmessungen sollten Zeiträume von mindestens 10 bis 15 Jahren berücksichtigt werden. Messreihen, die bis zu 30 Jahren zurückreichen, sind von Vorteil.

Neben der zeitlichen Auflösung der Messdaten ist auch die Qualität der Winddaten von Bedeutung. Dabei ist zu beachten, dass langjährige Windmessdaten, die von regionalen Wetterdiensten erhoben wurden, häufig für die verschiedenen Verwendungen von Meteorologie und Klimatologie geeignet sind, für die Nutzung der Windenergie waren solche Daten jedoch ursprünglich nicht erhoben worden. Wenn die Messzeiträume längere Zeit zurückreichen, nimmt die Genauigkeit der erhobenen Daten ab, da die Messtechnik oft noch nicht zur Prüfung einer Nutzung von Windenergie entwickelt worden war.

Es gibt die Möglichkeit, die Winddaten von regionalen Wetterstationen zu überprüfen und diese auf Gebiete, deren Windpotential ermittelt werden soll, zu übertragen. Befinden sich bereits Windenergieanlagen in der Nähe des Standorts, lässt sich die Anwendbarkeit von Winddaten regionaler Wetterstationen überprüfen.

Insbesondere im Gebirge ist es von Bedeutung, am Standort oder in der Nähe von Standorten Windmessungen durchzuführen, die den Anforderungen der Windenergienutzung Rechnung tragen. Es sollten dabei Anemometer auf mindestens zwei bis drei Höhen verwendet werden, die in gewissen Abständen kalibriert werden und im ausreichenden Abstand vom Messmast angebracht werden. Eine Höhe, die mindestens 60 % der zu prüfenden Nabenhöhe beträgt, sollte für das oberste Anemometer eingehalten werden. Anemometer, Windrichtungsgeber und Datenlogger sollten für die Anwendung bei der Windenergienutzung konstruiert sein. Die dargestellten Anforderungen sind jedoch mit einem hohen zeitlichen und finanziellen Auf-wand verbunden.

Derartige Messungen werden somit meist nur durchgeführt, falls für einen Standort eine Baugenehmigung mit einer entsprechenden Planung vorliegt und ein wirtschaftlicher WEA-Betrieb zu erwarten ist.

Für eine Windmessung ist zudem von Bedeutung, dass das Gelände die Windverhältnisse nicht zu stark beeinflusst. Dabei ist eine ausreichende Höhe über Grund wichtig, um Einflüssen von Wäldern und Hindernissen entgegenzuwirken. Zudem können starke Hangneigungen oder zerklüftetes Gelände einen starken Einfluss auf die Daten haben.

Die Effekte des Geländes am Messstandort und am Standort der begutachteten WEA können durch Simulationsprogramme bis zu einem gewissen Grad berücksichtigt werden.

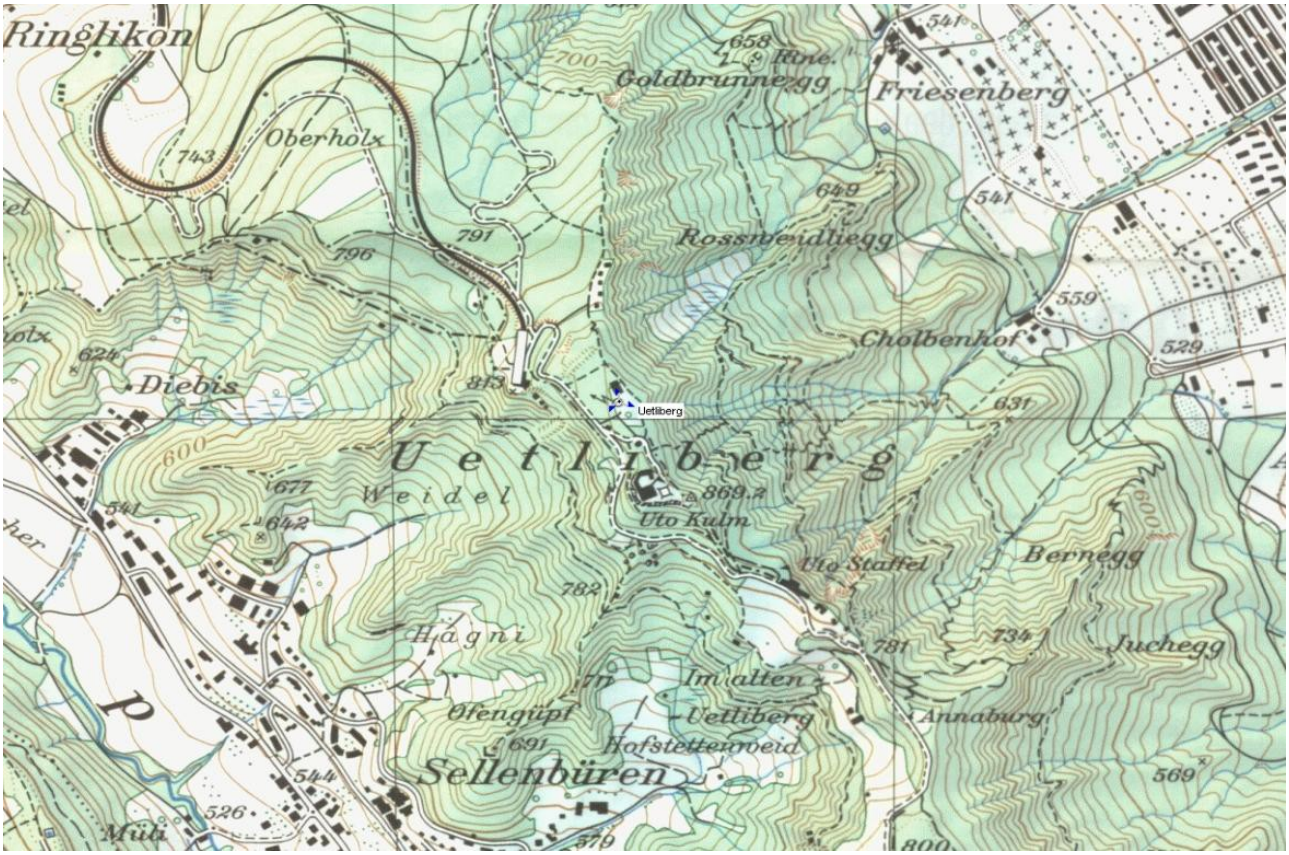
Für dieses Gutachten wurden Messstandorte von regionalen Wetterstationen mit langjährigen Messreihen begutachtet. Es wurden die Umgebung der Messmasten sowie die Messmasten selber bei Begehungen betrachtet und bewertet. Es wurden die Messdaten gewisser Stationen bei Simulationen mittels digitaler Geländemodelle und entsprechender Software auf die Messstandorte übertragen.

Messstation Uetliberg

Es hat sich gezeigt, dass die Messstation Uetliberg für den Gebrauch von langjährigen Messdaten am besten geeignet ist. Die Messeinrichtung entspricht jedoch nicht den Standards für Windpotentialermittlungen was Kalibrierung des Anemometers und den Abstand des Anemometers bzw. des Windrichtungsgebers zum Sendemast betrifft. Ein großer Vorteil dieser Messstation ist jedoch die Messhöhe von 189 m Höhe über Grund. Die Effekte der teilweise steilen Hänge am Uetliberg können durch diese Höhe ausgeglichen werden.

An den meisten Messstationen, die in Frage kamen, waren Messhöhen, die zumeist 10 m über Grund betrugen, nicht ausreichend. Oft lagen die Stationen auch in Umgebungen, beispielsweise Tälern, die stark von der Beschaffenheit des begutachteten Standorts abwichen. Bei der Station Lägern wiederum, mit einer Messhöhe von 26 m über Grund, wirkten sich Hangneigungen und Wälder, die nah an die Anemometerhöhe reichten, auf die Anwendbarkeit der Daten aus.

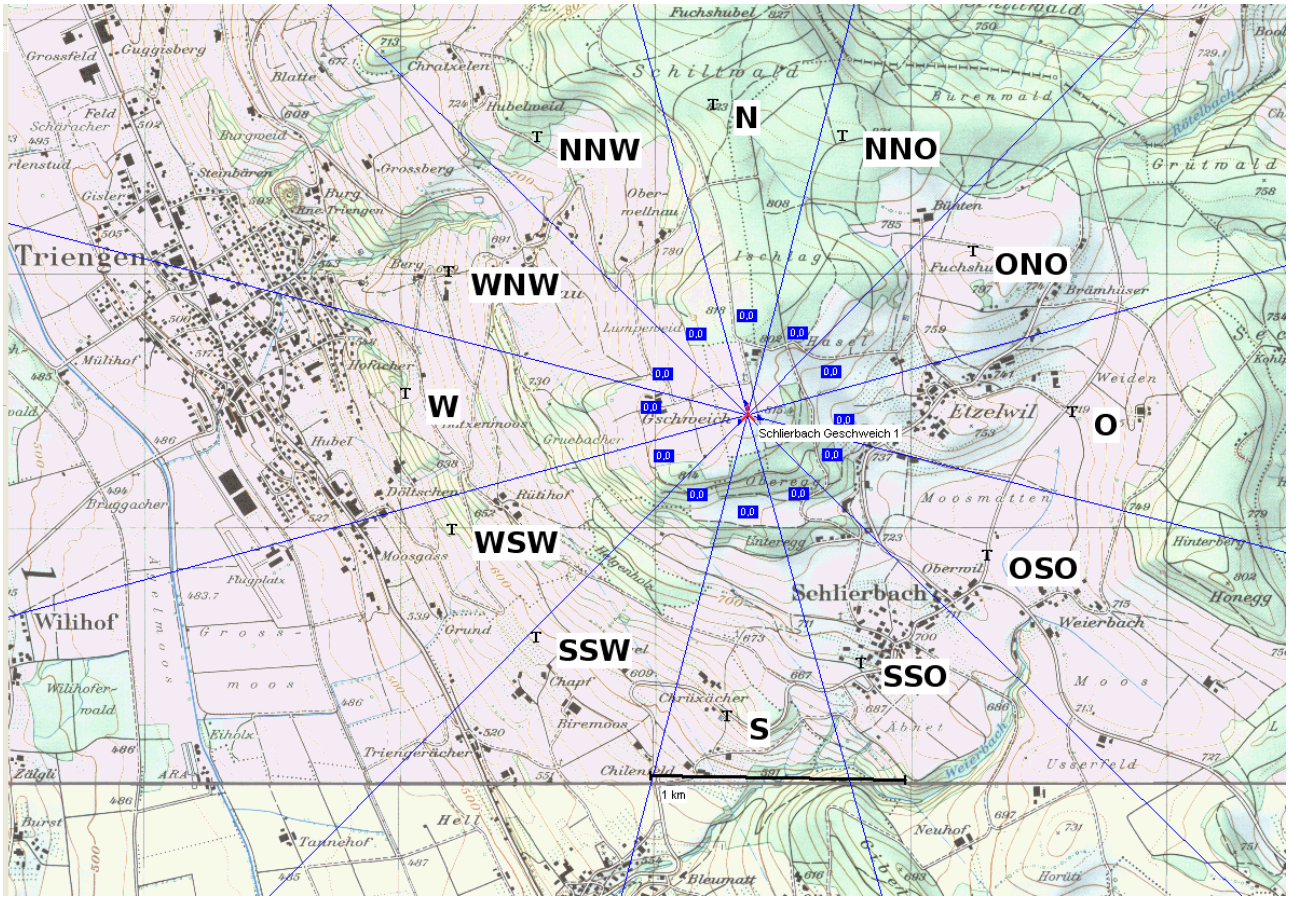
Die Station Uetliberg wurde verwendet, um die gemessenen Windverhältnisse der Messstation Schlierbach eines kürzeren Zeitraums auf einen längeren Zeitraum umzurechnen (weitere Erläuterung im Kapitel 6 Langzeitkorrelation).



Karte 2: Messstandort Uetliberg (blau), Raster 1 km

Messung in Schlierbach

Um die Windverhältnisse des begutachteten Standorts zu ermitteln, wurden die Daten der Messstation Schlierbach mit einem Anemometer auf 65 m Höhe verwendet. Hierbei wurden die gemessenen Daten vom 02.09.2007 bis 23.09.2008 der gesamten Messperiode angewendet. Mit einer Entfernung von ca. 2,5 km bis 4 km zu den WEA 1 bis 4 ist die Messung zur Übertragung auf den begutachteten Standort geeignet. Es wurde mit kalibrierten Anemometern gemessen, unplausible Daten wurden entfernt.



Karte 3: Messstandort Schlierbach mit den 12 Sektoren

Die gemessenen Daten wiesen insgesamt eine Verfügbarkeit von 93,2 % auf, monatliche Verfügbarkeiten in folgender Tabelle:

Sep 07	Okt 07	Nov 07	Dez 07	Jan 08	Feb 08	Mrz 08	Apr 08	Mai 08	Jun 08	Jul 08	Aug 08	Sep 08
98,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	68,7%	98,0%	72,5%	97,9%	99,9%	100,0%	100,0%	76,5%

Tabelle 1: monatliche Verfügbarkeiten der Messungen

4. Vorgehensweise

Bei der Ermittlung der Windverhältnisse am begutachteten Standort ist zum einen, wie im vorherigen Kapitel beschrieben, die Erhebung der Eingangsdaten von Bedeutung. Weiterhin wirkt sich die Erstellung der digitalen Geländemodelle auf die Berechnungen aus. Die Simulation der Windverhältnisse bemüht sich um eine annähernde Abbildung der natürlichen Windverhältnisse.

Mithilfe der Software von WindPRO 2.9 wurde zunächst ein digitales Geländemodell erstellt. Mit Höhenlinien wurde ein orographisches Modell angefertigt. Hindernisse und Wälder in der Nähe des Standortes wurden mithilfe des Programms simuliert. Rauhigkeitslängen stellen den Einfluss dar, den die Geländeoberfläche auf die Windgeschwindigkeit ausübt. Der Beschaffenheit der Geländeoberfläche ist jeweils eine bestimmte Rauhigkeitslänge zugeordnet, z. B. Wasseroberfläche 0,0002, Ackerland 0,03, wenige Bäume und Häuser 0,05, Wald 0,4, Großstädte und steile Hänge 1,6. Wichtig ist, dass nicht der flächenhafte Anteil von Wald, Ackerland etc. bewertet wird, auch die Anordnung verschiedener Elemente der Landschaft, wie etwa die Abstände zwischen Baumreihen, Gebäuden oder Waldstücken, werden bei der Bestimmung der Rauhigkeitslänge bewertet.

Bei diesem Gutachten wurde das Programm WindSim verwendet. Es kam die Version 6.0 zur Anwendung. Hierbei findet eine dreidimensionale, nichtlineare Strömungsmodellierung zur Ermittlung von Windverhältnissen statt. Die Windfeldsimulation mithilfe von WindSim ist speziell für orographisch komplexe Geländesituationen geeignet. Die Geländedaten werden zunächst mit WindPRO aufgenommen, analysiert und verarbeitet. Danach erfolgt die Übernahme in WindSim. Bei der Anwendung von WindSim wird ein digitales Geländemodell erstellt, das das Gelände in einem Umkreis von 30 km um die begutachteten Standorte, bzw. um die Messstandorte, berücksichtigt.

Aus den Höhenlinien entsteht ein Gitternetz, wobei an jedem Knoten des Netzes jeweils Berechnungen der Windverhältnisse stattfinden. Es ist üblich, für die Gebiete der Messstandorte und für die begutachteten Standorte ein Netz mit hoher Auflösung zu verwenden: 20 bis 30 m. Für größere Distanzen werden gröbere Auflösungen verwendet. Auch die vertikale Ausdehnung dieses Netzes ist von Bedeutung.

In diesem Gutachten wurde ein Geländemodell verwendet, an dem sich das Gitter mit den Zellen vom Rand hin zu den Stellen, an denen sich die WEA befinden, verfeinert. Die Zellen werden somit kleiner werden. Das Geländemodell berücksichtigt einen Radius von 30 km um die WEA.

Begehung des Standorts

Am 07.06.2013 fanden gutachterliche Begehungen der Standorte der geplanten Anlagen sowie der Vergleichsanlage statt. Die Landschaft wurde im Umkreis von 20 km um die beiden Standorte mit dem Kartenmaterial verglichen. Die Standorte der 4 WEA wurden mithilfe eines GPS-Geräts aufgesucht. Die Begehung fand gemeinsam mit dem Auftraggeber statt, wobei die Standorte der WEA 1 bis 4 noch einmal in Ihrer Lage korrigiert und die Koordinaten mit dem GPS-Gerät aufgenommen wurden.

Es wurden die folgenden Karten verwendet:

Topographische Karten	1 : 100.000
Topographische Karten	1 : 25.000

Zudem kamen Satellitendaten für die Landschaft und Höhendaten, die von WindPRO zur Verfügung gestellt wurden, zur Anwendung.

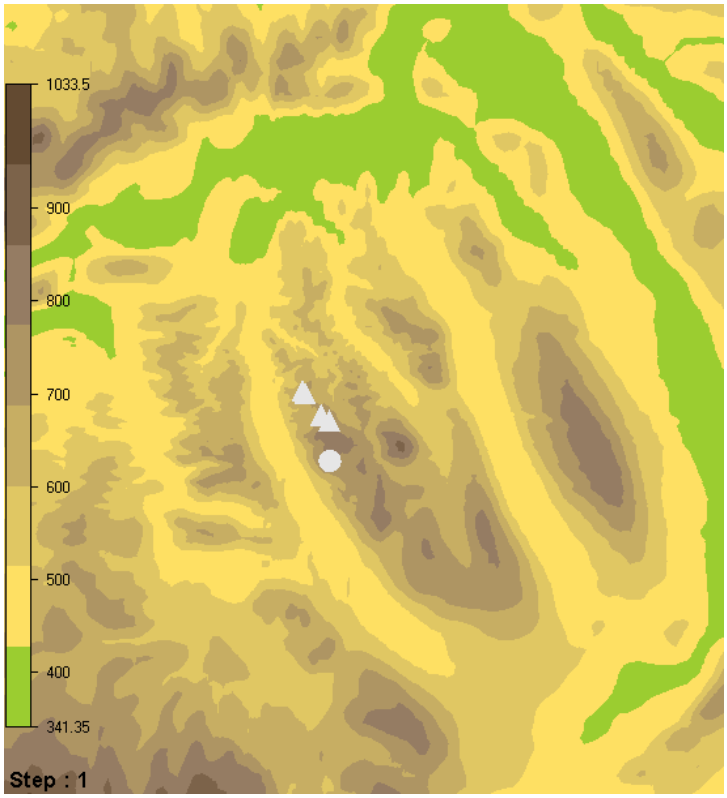


Abbildung 4: WindSim Geländemodell mit Umgebung
des begutachteten Standorts, Höhen über NN

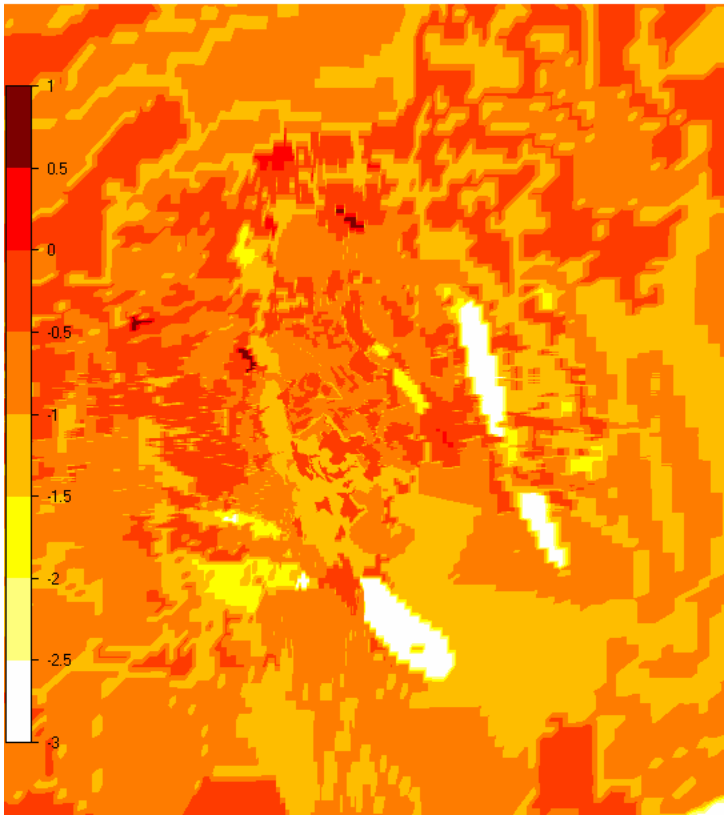


Abbildung 5: Rauhigkeitslängen für das Terrain der
Abbildung oben, logarithmische Skala

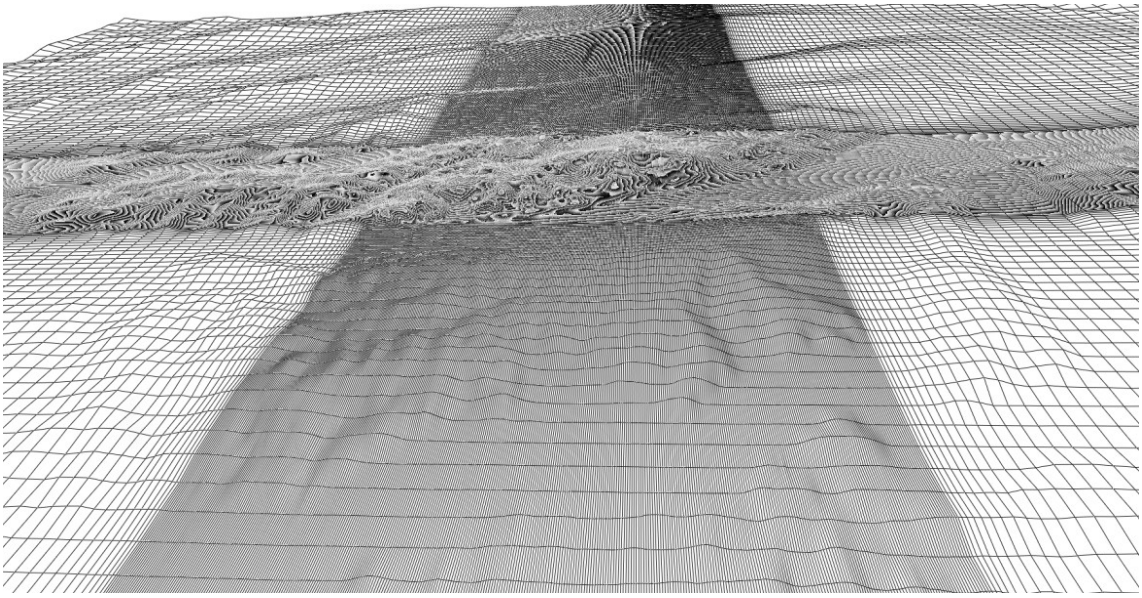


Abbildung 6: Geländemodell mit Verfeinerung der Zellen
zum Zentrum, an dem sich die WEA und die Messstation Schlierbach befinden.

	x	y	z	total
Grid spacing, min - max (m)	26.1 - 757.2	26.1 - 745.9	Variable	-
Number of cells	296	449	30	3987120

Tabelle 2: Mit der Ausdehnung des Geländemodells nach der Anzahl der Zellen, x Nord-Süd, y West-Ost und z Höhe über Grund. Die Größe der Zellen reicht vom Rand des Modells mit 757,2 m bis zu 26,1m im Zentrum, in dem sich die WEA und die Messstation befinden.

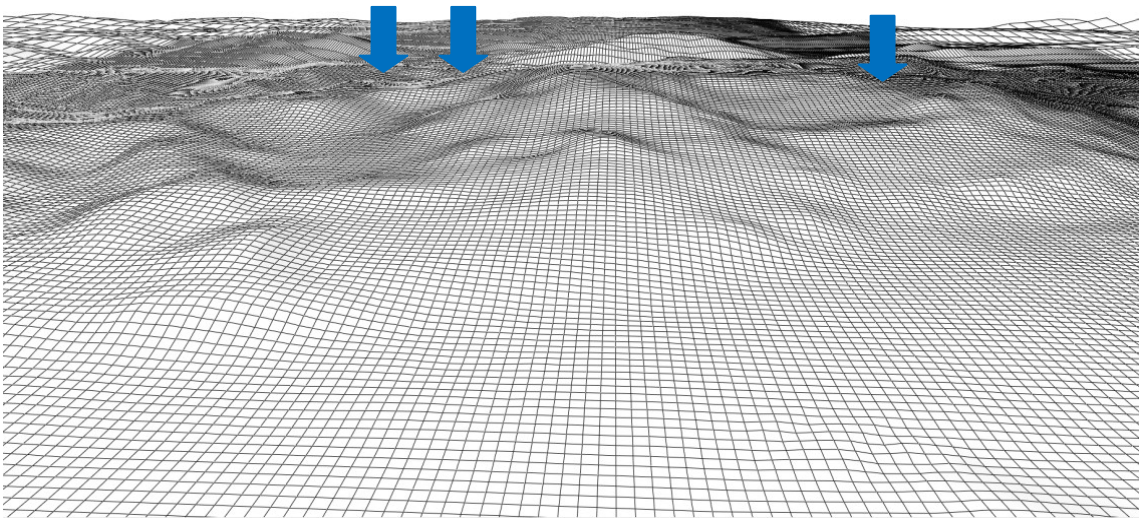


Abbildung 7: links WEA 3 und WEA 4, rechts Messstation Schlierbach,
Ausschnitt aus dem Geländemodell oben

Abbildung 8: WEA 1 bis 4 (von links nach rechts) im digitalen Geländemodell von WindSim, Ansicht aus westlicher Richtung, m über NN

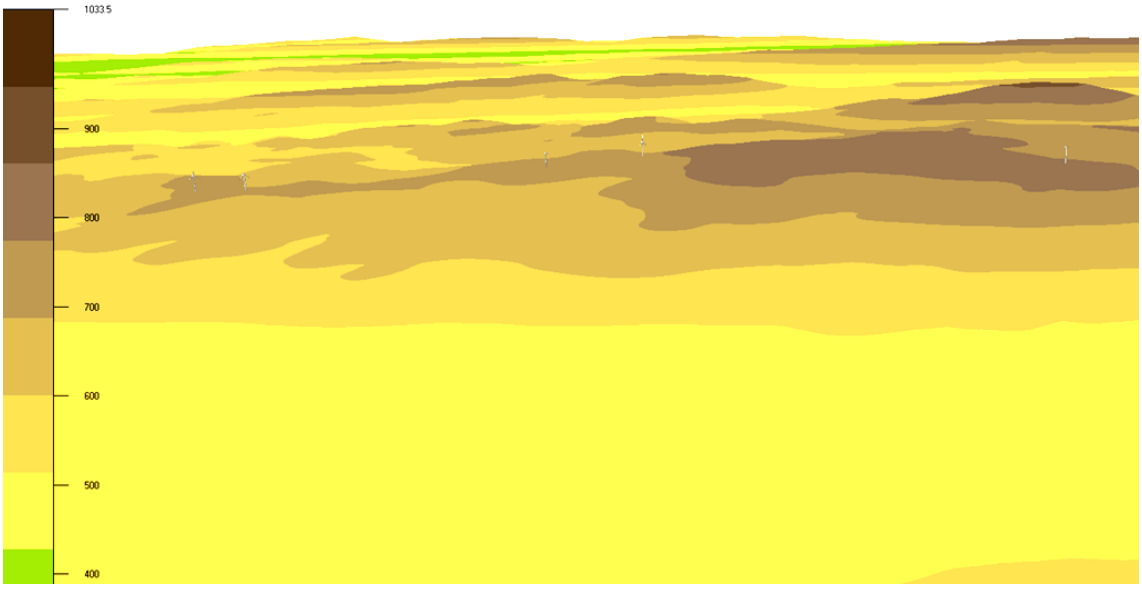


Abbildung 9: WEA 1 bis 4 (von links nach rechts) im digitalen Geländemodell von WindSim, rechts die Messstation Schlierbach, Ansicht aus westlicher Richtung, m über NN

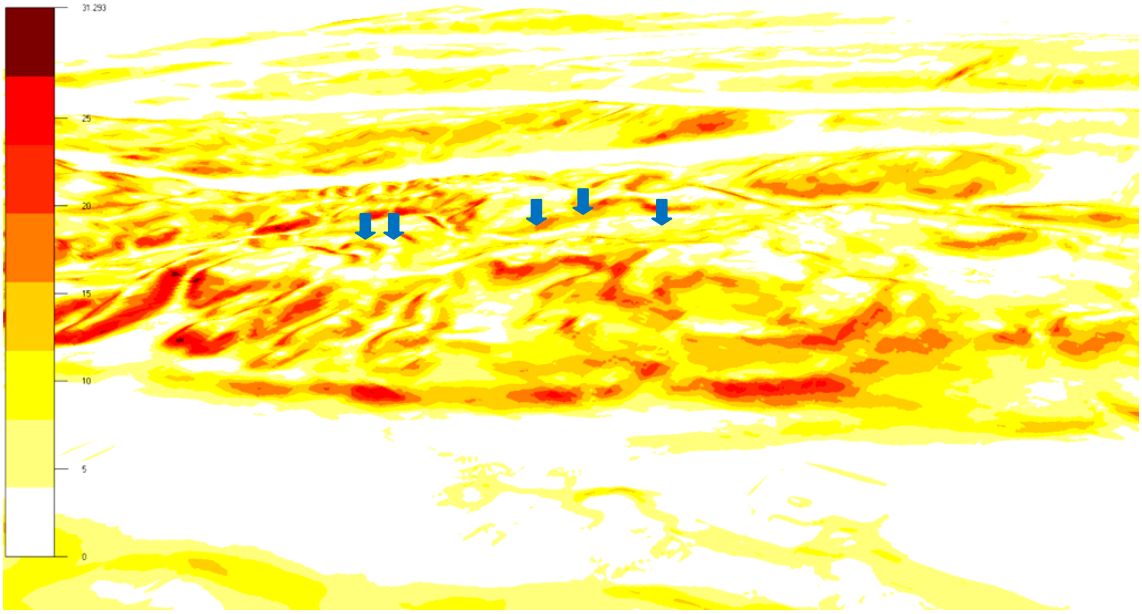


Abbildung 10: Hangneigungen in Grad WEA 1 bis 4 (von links nach rechts) im digitalen Geländemodell von WindSim, rechts die Messstation Schlierbach, Ansicht aus westlicher Richtung

5. Die Windverhältnisse am begutachteten Standort

Im Folgenden wird zuerst die Windstatistik der Windmessung in Schlierbach über den Zeitraum der Messung gezeigt (Abbildung 11). Es folgt die Windstatistik, die ein langjähriges Mittel darstellt und mit der Methode erzeugt wurde, die im Kapitel Langzeitkorrelation beschrieben wird (Abbildung 12). Diese wird verwendet, um die Erträge in diesem Gutachten zu berechnen.

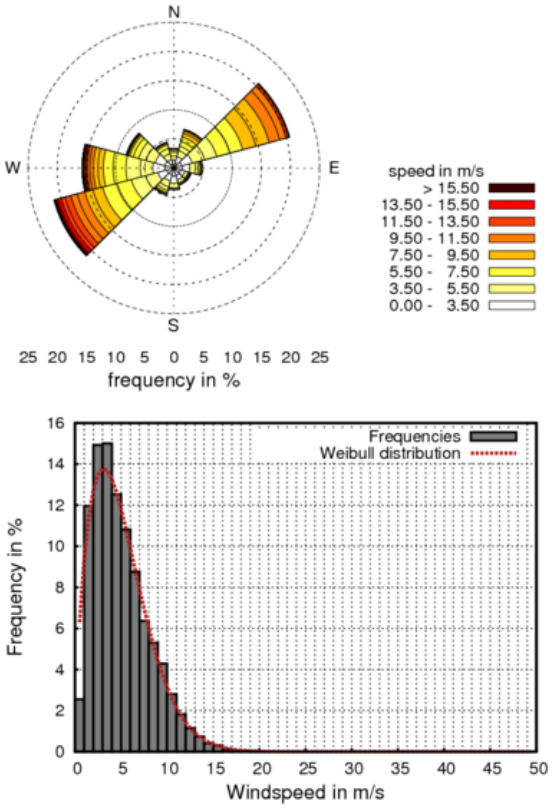


Fig 1. Above: Climatology - Schlierbachmessung .
Below: Frequency distribution - Schlierbachmessung .

The frequency table has been fitted to a Weibull distribution. The below table give the Weibull shape and scale parameters (k,A), accumulated frequency of occurrence and the average wind speed for each sector.

.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
k	2.25	2.16	2.65	1.60	1.15	1.77	2.02	1.96	1.86	1.70	1.78	2.32
A	4.13	5.35	7.07	3.37	2.98	2.78	2.85	3.71	7.44	5.89	4.34	4.39
freq	3.4	6.8	20.5	4.8	3.1	3.0	3.7	4.7	21.2	15.7	8.4	4.6
mean	3.64	4.72	6.12	3.10	2.98	2.48	2.50	3.29	6.77	5.37	3.89	3.85

Table 2. Weibull (k,A), frequency (% related to all sectors) and average wind speed (m/s)

mittlere Windgeschwindigkeit = 5,05m/s A = 5,56m/s k = 1,6

Abbildung 11: Darstellung der Windverhältnisse der Messung Schlierbach 65 m über Grund, oben Windrose, Mitte Diagramm mit den Häufigkeiten und der Weibullkurve, unten Tabelle mit den Sektoren 1 Nord, 2 NordNordOst etc. Weibullparameter A und k Häufigkeit (freq) der Windrichtung und mittlere Windgeschwindigkeit

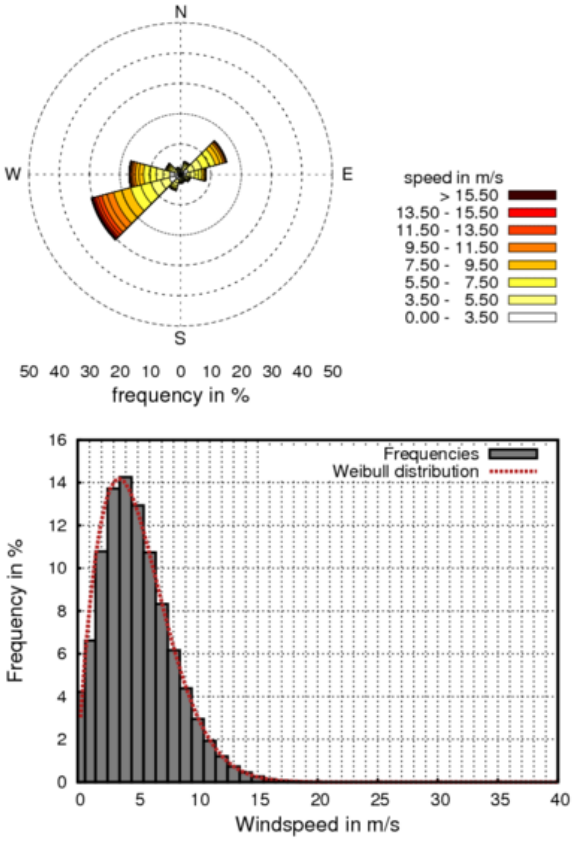


Fig 1. Above: Climatology - Schlierbach Uetliberg 2.
Below: Frequency distribution - Schlierbach Uetliberg 2.

The frequency table has been fitted to a Weibull distribution. The below table give the Weibull shape and scale parameters (k,A), accumulated frequency of occurrence and the average wind speed for each sector.

.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
k	1.81	1.92	2.26	2.12	1.80	1.54	1.58	1.77	2.03	1.86	1.84	1.82
A	3.59	4.16	5.60	5.02	4.15	4.18	4.14	3.98	7.18	5.74	4.79	3.78
freq	2.1	4.4	15.7	8.5	3.4	2.6	2.9	5.5	30.4	17.0	5.1	2.4
mean	3.09	3.61	4.89	4.37	3.61	3.73	3.69	3.46	6.30	5.01	4.18	3.27

mittlere Windgeschwindigkeit = 4,94m/s A = 5,59 k = 1.75 m/s

Abbildung 12: Darstellung der langzeitkorrigierten Windverhältnisse der Messung Schlierbach 65 m über Grund, oben Windrose, Mitte Diagramm mit den Häufigkeiten und der Weibullkurve, unten Tabelle mit den Sektoren 1 Nord, 2 NordNordOst etc. Weibullparameter A und k Häufigkeit (freq) der Windrichtung und mittlere Windgeschwindigkeit

In den Abbildungen 11 und 12 ist zu erkennen, dass der Zeitraum der Messung in Schlierbach eine höhere mittlere Windgeschwindigkeit 5.05 m/s gegenüber der langzeitkorrigierten Windstatistik mit einer mittleren Windgeschwindigkeit von 4,94 m/s aufweist. Die Häufigkeiten der Windrichtungen unterscheiden sich. In der langzeitkorrigierten Version sind Häufigkeiten und mittlere Windgeschwindigkeiten im ONO Sektor geringer und im WSW Sektor höher.

In den Diagrammen 1 bis 3 werden die berechneten Windverhältnisse des Standorts Kirchleerau-Kulmerau für eine Nabenhöhe von 85 m der Anlage des Typs E 82 berechnet. Als Eingabedaten dienten die berechneten Windverhältnisse der WEA 1 bis 4

In Diagramm 1 sind die mittleren Windgeschwindigkeiten sektorenweise für die vier WEA und die Messung Schlierbach auf 65 m Höhe über Grund dargestellt. Diagramm 2 zeigt die prozentualen Häufigkeiten der Windgeschwindigkeiten in Nabenhöhe 85 m aller vier WEA. Die Sektoren mit der größten Häufigkeit sind die Sektoren WSW, W und ONO.

Im Diagramm 3 ist zu erkennen, dass die Sektoren WSW, W und ONO auch die Sektoren mit der höchsten Energieproduktion sind. Weitere Sektoren weisen teilweise eine relativ hohe mittlere Windgeschwindigkeiten, haben Aufgrund der Häufigkeit einen geringen Anteil an der Energieproduktion.

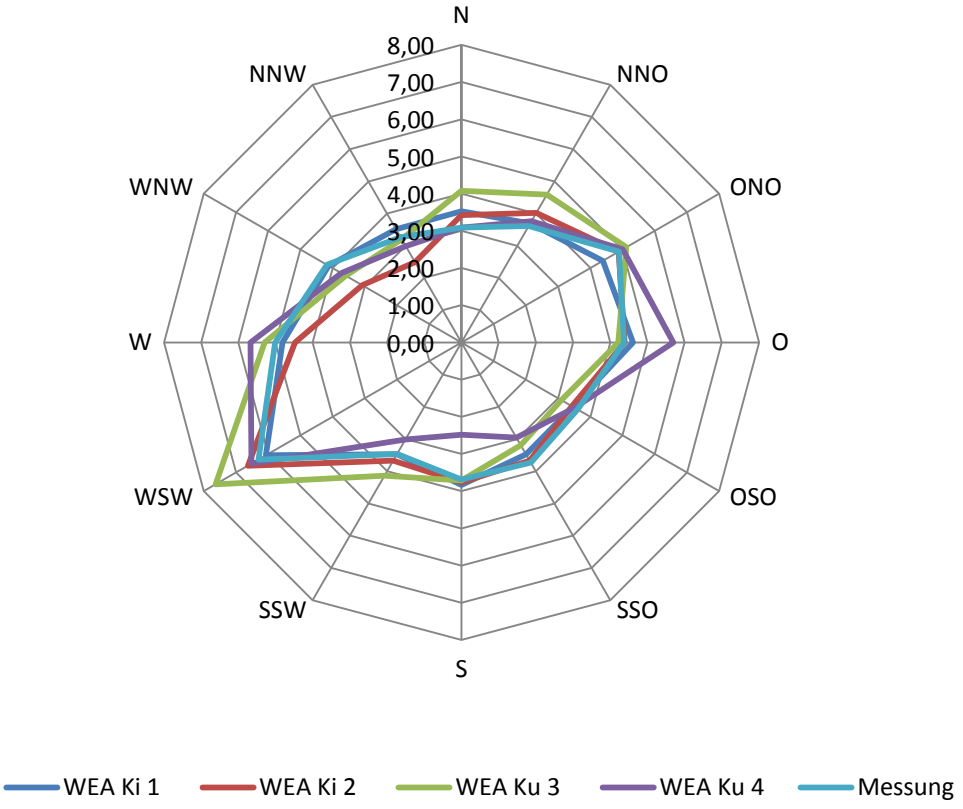


Diagramm 1: Die mittleren Windgeschwindigkeiten in 85 m Höhe der WEA 1 bis 4 und die Messung Schlierbach in 65 m Höhe über Grund

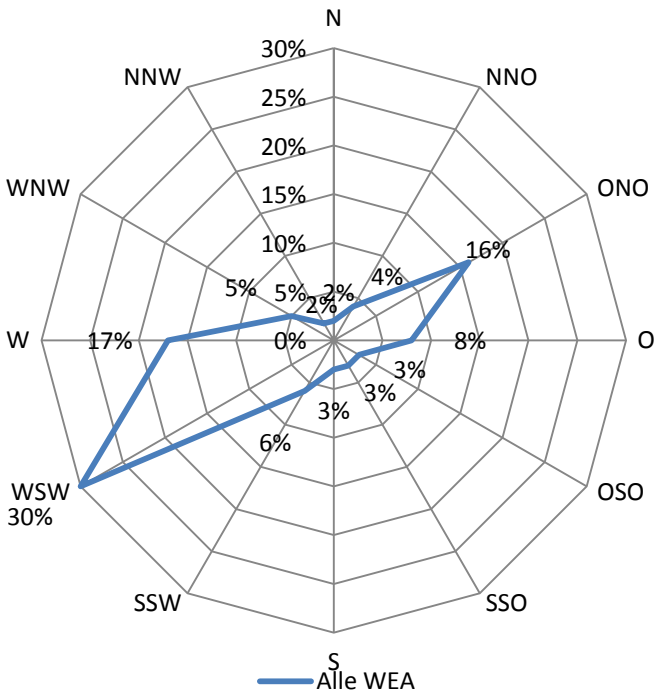


Diagramm 2: Die Häufigkeiten der Windrichtungen in 85 m Höhe

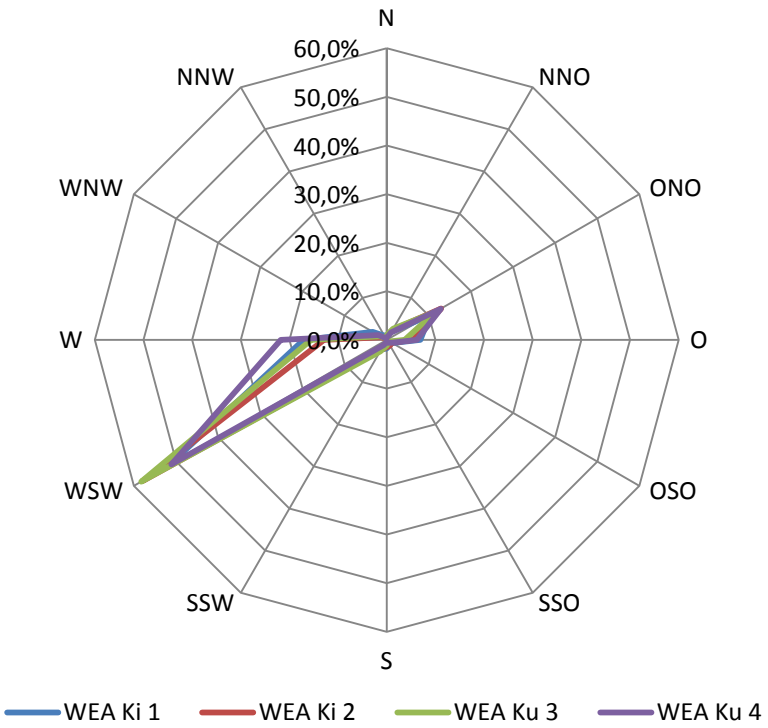


Diagramm 3: Die Anteile der Sektoren an der Energieproduktion
für die vier WEA mit einer Nabenhöhe von 85 m

Erträge und Windgeschwindigkeiten

Enercon E 82 E 2 Nennleistung 2.300 kW Rotordurchmesser 82 m

Nabenhöhe 85

License: JH Wind GmbH | Project: Kirchleerau_Kulmerau_4 | Version: 600
Customer: Luventa_GmbH | Layout: E 82 E2 85 | Date: 03.09.13 08:23

AEP Climatology: Schlier_Uet2 Turbine: WEA_Ki_1

sector	energy (MWh/y)	frequency (-)	wind speed ref (m/s)	wind speed wecs (m/s)	Speed-up (-)
1	25.8	0.02	3.09	3.53	1.14
2	54.3	0.04	3.61	3.69	1.02
3	284.7	0.16	4.89	4.39	0.90
4	192.5	0.08	4.37	4.61	1.06
5	36.3	0.03	3.61	3.46	0.96
6	33.6	0.03	3.73	3.47	0.93
7	48.9	0.03	3.69	3.83	1.04
8	62.0	0.06	3.46	3.47	1.00
9	1445.7	0.30	6.30	6.07	0.96
10	474.6	0.17	5.01	4.81	0.96
11	92.6	0.05	4.18	4.13	0.99
12	28.3	0.02	3.27	3.51	1.08
1 - 12	2779.3	1.00	4.94	4.78	0.97

License: JH Wind GmbH | Project: Kirchleerau_Kulmerau_4 | Version: 600
Customer: Luventa_GmbH | Layout: E 82 E2 85 | Date: 03.09.13 08:23

AEP Climatology: Schlier_Uet2 Turbine: WEA_Ki_2

sector	energy (MWh/y)	frequency (-)	wind speed ref (m/s)	wind speed wecs (m/s)	Speed-up (-)
1	23.3	0.02	3.09	3.42	1.11
2	72.7	0.04	3.61	4.02	1.12
3	392.7	0.16	4.89	4.88	1.00
4	164.6	0.08	4.37	4.39	1.00
5	35.7	0.03	3.61	3.43	0.95
6	39.8	0.03	3.73	3.67	0.98
7	46.1	0.03	3.69	3.76	1.02
8	73.9	0.06	3.46	3.67	1.06
9	1758.0	0.30	6.30	6.63	1.05
10	391.1	0.17	5.01	4.48	0.90
11	35.6	0.05	4.18	3.08	0.74
12	8.5	0.02	3.27	2.49	0.76
1 - 12	3041.9	1.00	4.94	4.91	0.99

License: JH Wind GmbH | Project: Kirchleerau_Kulmerau_4 | Version: 600
Customer: Luventa_GmbH | Layout: E 82 E2 85 | Date: 03.09.13 08:23

AEP Climatology: Schlier_Uet2 Turbine: WEA_Ku_3

sector	energy (MWh/y)	frequency (-)	wind speed ref (m/s)	wind speed wecs (m/s)	Speed-up (-)
1	39.6	0.02	3.09	4.08	1.32
2	105.9	0.04	3.61	4.59	1.27
3	455.5	0.16	4.89	5.12	1.05
4	144.5	0.08	4.37	4.22	0.97
5	25.6	0.03	3.61	3.10	0.86
6	26.1	0.03	3.73	3.19	0.85
7	44.7	0.03	3.69	3.71	1.01
8	104.8	0.06	3.46	4.14	1.20
9	2286.9	0.30	6.30	7.63	1.21
10	608.3	0.17	5.01	5.29	1.06
11	60.2	0.05	4.18	3.59	0.86
12	20.2	0.02	3.27	3.21	0.98
1 - 12	3922.4	1.00	4.94	5.45	1.10

License: JH Wind GmbH | Project: Kirchleerau_Kulmerau_4 | Version: 600
Customer: Luventa_GmbH | Layout: E 82 E2 85 | Date: 03.09.13 08:23

AEP Climatology: Schlier_Uet2 Turbine: WEA_Ku_4

sector	energy (MWh/y)	frequency (-)	wind speed ref (m/s)	wind speed wecs (m/s)	Speed-up (-)
1	15.6	0.02	3.09	3.09	1.00
2	58.0	0.04	3.61	3.76	1.04
3	426.3	0.16	4.89	5.01	1.02
4	204.5	0.08	4.37	4.70	1.08
5	38.5	0.03	3.61	3.51	0.97
6	20.7	0.03	3.73	2.95	0.79
7	11.7	0.03	3.69	2.48	0.67
8	38.6	0.06	3.46	3.01	0.87
9	1695.9	0.30	6.30	6.52	1.04
10	721.5	0.17	5.01	5.67	1.13
11	68.0	0.05	4.18	3.73	0.89
12	16.3	0.02	3.27	2.99	0.92
1 - 12	3315.7	1.00	4.94	5.06	1.02

Tabelle 2: Dargestellt sind für die Sektoren 1 für N, 2 für NNO etc. die Erträge (energy), die Häufigkeit der Windrichtung (frequency), die mittlere Windgeschwindigkeit der Messung Schlierbach (windspeed ref) und (windspeed wecs) auf der Nabenhöhe der WEA. Das Speed-up gibt das Verhältnis der Windgeschwindigkeiten in Schlierbach 65 m über Grund und der Nabenhöhe von 85 m über Grund der WEA an.

6. Langzeitkorrelation

Bei der Verwendung der Daten einer Windmessung in der Nähe des Standorts ist zu beachten, dass diese Messung nur einen relativ kurzen Zeitraum darstellt. Es ist nun möglich, mit den gemessenen Winddaten Erträge zu errechnen und diese Erträge später gemäß der Langzeitkorrelation zu korrigieren. Es ist aber auch sinnvoll, die Windstatistik der Messung in der Nähe des begutachteten Standorts mithilfe von Langzeitdaten zu korrigieren und die Erträge mit dieser zu errechnen.

Hierzu gibt es verschiedene Möglichkeiten:

Anwenden der langjährigen Daten einer Messstation für die Ertragsberechnung
Es stellt sich hierbei die Frage, inwieweit der langjährige Zeitraum repräsentativ ist, dass heißt, ob die Messperiode in einem windstarken oder windschwachen Zeitraum war und so das Windpotential über- bzw. unterschätzt würde.
Zudem ist nicht sicher, dass sich die jährlichen oder monatlichen Schwankungen am begutachteten Standort ähnlich verhalten wie die Schwankungen am Messstandort. Langjährige Daten liegen zudem oft nicht in der Genauigkeit vor, die für die Windenergie notwendig sind. Für dieses Gutachten war die 32,1 km von der Messstation Schlierbach entfernte Messstation Uetliberg, die für die Langzeitkorrelation geeignet ist, vorhanden.

Anwendung eines Windindex
Bei einem Windindex sind die Schwankungen des Windpotentials für ein bestimmtes Gebiet berechnet worden. Mithilfe des Windindex können Erträge, die innerhalb eines Jahres oder Monats erzielt worden sind, auf einen langjährigen Zeitraum bezogen werden und kann somit das langjährige Mittel eines Ertrages prognostiziert werden. Auch Erträge, die für einen Standort mit Daten kürzerer Zeiträume berechnet worden sind, können auf einen langjährigen Zeitraum bezogen werden.
Es gibt die Möglichkeit, Windindizes von Firmen zu verwenden, die über eine umfangreiche Datengrundlage verfügen, die aufwändige Verfahren anwenden und die Ergebnisse für zahlreiche Planer und Gutachter nutzbar machen. Teilweise ist es aber auch sinnvoll, eigene Windindizes individuell für einen Standort zu erstellen, auch wenn dabei nicht auf die Datenmenge zurückgegriffen werden kann, die andere spezialisierte Institute bieten. Für das Gebiet der

begutachteten Standorte liegen jedoch keine geeigneten Windindizes vor. Die Anfertigung eigener Windindizes ist jedoch möglich.

Die Angewendete MCP Methode

Da verwendbare Daten der Messstation Uetliberg vorhanden waren, wurde die Methode Regressions-MCP angewendet, wobei eine lineare Regression mit dem WindPRO-Modul MCP, was Messen, Korrelieren und Voraussagen (Measure-Correlate-Predict) bedeutet, zur Anwendung kam. Zunächst wurden dafür die Daten der Messung in der Nähe des begutachteten Standorts, in diesem Fall Schlierbach, analysiert und langjährige Datensätze von geeigneten Messungen, hier Uetliberg, analysiert und überprüft. Es erfolgte eine Korrelation der beiden Datensätze, die ihrerseits überprüft wurde. Da die Korrelation plausibel war, folgte der dritte Schritt: die Voraussage (Predict) der langjährigen mittleren Windverhältnisse. Mithilfe der beiden geprüften Datensätze wurde ein weiterer Datensatz erzeugt, der die möglichen langjährigen Daten am Ort der Messstation Schlierbach zeigte. Mit diesem erzeugten Datensatz wurde anschließend eine Windstatisik in WindSim erzeugt, mit der schließlich die Erträge an dem hier begutachteten Standort Kirchleerau-Kulmerau berechnet wurden.

Hauptdaten der Windstatistik

Name	Messstation Schlierbach (Regressions-MCP mit Uetliberg)
Quelle	Erstellt von JH Wind GmbH
Mastkoordinaten	Swiss (LV03)-CH1903 (CH/LI) Ost: 650.366 Nord: 231.462 (Messung Schlierbach)
Erzeugt	31.08.2013
Sektoren	12
WAsP-Version	WAsP 6-9 RVEA0011.dll 1, 0, 0, 13
Messhöhe über Grund	65,0 m
Fußpunkt des Messmasts über NN	810,0 m
Methode	Regressions-MCP
Eingangsdaten	Uetliberg
Abstand zu Eingangsdaten 3	2,1 km
Langzeitraum von	01.01.1995
Langzeitraum bis	31.12.2008
Gemeinsamer Zeitraum von	02.09.2007
Gemeinsamer Zeitraum bis	23.09.2008
Gemeinsame Zeitstempel	48.224
Gemeinsamer Zeitraum - Intervall	10 Minuten
Verfügbarkeit gemeinsamer Zeitraum	93,0 %
Jahre Langzeitdaten	14,0 Jahre
Determinationskoeffizient Windindex (r^2)	0,7580
Korrelationskoeffizient Windindex (r)	0,8706
Standardfehler Windindex (s)	10,2766

7. Ergebnisse der Berechnungen

Mithilfe der errechneten Windverhältnisse wurden Erträge von WEA für die entsprechenden Jahre berechnet. Bei diesen mittleren jährlichen Erträgen sind jedoch die Unsicherheiten noch nicht berücksichtigt, ein pauschaler Sicherheitsabschlag wird nicht angewendet. Im folgenden Kapitel Unsicherheitsfaktoren werden die Wahrscheinlichkeiten der Abweichungen von den errechneten Erträgen aufgezeigt.

	85 m				98 m				108 m			
	2.000 kW	2.300 kW	m/s	Park %	2.000 kW	2.300 kW	m/s	Park %	2.000 kW	2.300 kW	m/s	Park %
WEA 1	**2.770.200**	**2.779.300**	4,81	98,8%	**3.159.900**	**3.192.500**	5,04	98,9%	**3.383.500**	**3.425.800**	5,22	98,9%
WEA 2	**3.011.800**	**3.041.900**	4,94	99,2%	**3.277.300**	**3.323.400**	5,09	99,1%	**3.486.800**	**3.539.800**	5,26	99,0%
WEA 3	**3.835.300**	**3.922.400**	5,48	99,7%	**3.999.300**	**4.094.100**	5,56	99,8%	**4.083.600**	**4.181.800**	5,63	99,8%
WEA 4	**3.275.900**	**3.315.700**	5,07	99,7%	**3.568.400**	**3.623.600**	5,25	99,7%	**3.794.700**	**3.860.100**	5,41	99,7%
Park	**12.893.200**	**13.059.300**	5,08	99,4%	**14.004.900**	**14.233.600**	5,24	99,4%	**14.748.600**	**15.101.800**	5,38	99,3%

Tabelle 3: Berechnete Erträge, mittlere Windgeschwindigkeiten und Parkwirkung für die WEA mit 2.000 und 2.300 kW Nennleistung und den Nabenhöhen von 85, 98 und 108 m

Bitte Ergebnisse im Zusammenhang mit dem gesamten Gutachten betrachten

8. Unsicherheitsfaktoren

Für die mittleren jährlichen Erträge, die im vorangegangenen Abschnitt in Tabelle 3 dargestellt sind, wurden die Unsicherheitsfaktoren ermittelt. Hierbei sind die Unsicherheitsfaktoren des Standorts der Messung und der Standorte der vier WEA des begutachteten Standorts zusammengefasst. Hinzu kommen die Unsicherheitsfaktoren für die Leistungskennlinien. Aus diesen drei Größen ergibt sich die Gesamtunsicherheit, die wiederum dafür verwendet wird, mögliche Abweichungen von errechneten Erträgen zu ermitteln.

Die Unsicherheitsfaktoren

Windmessungen	
Winddaten	2,0
Rauhigkeit	2,0
Orographie	4,0
Hindernisse	4,0
Unsicherheit Windmessungen	**6,3**
Standort	
Methode	4,0
Rauhigkeit	2,0
Orographie	5,0
Hindernisse	4,0
Langzeitabgleich	4,0
Parkwirkung	0,5
Unsicherheit Standort	**8,8**
Unsicherheit Leistungkennlinie	**8,0**
Gesamtunsicherheit	**13,463**

Tabelle 4: Unsicherheitsfaktoren, die in die Berechnung der Gesamtunsicherheit eingingen

Winddaten: Die Unsicherheiten bezüglich der Winddaten der Messstation Uetliberg, die für die Langzeitkorrelation verwendet worden sind, gingen in diesen Wert ein. Auch die Unsicherheit der

Messungen am Messstandort Schlierbach fand bei diesem Wert Berücksichtigung. Bei dem Punkt Winddaten ging es hauptsächlich um die Datenerhebung.
Es bleibt eine Unsicherheit bezüglich der Übertragbarkeit auf die Standorte der WEA 1 bis 4 (siehe auch Kapitel Beurteilung der Basisdaten).

Rauhigkeiten und Hindernisse: Am Messstandort Schlierbach gab es eine starke Einwirkung von Hindernissen auf den gemessenen Wind, die Rauhigkeiten wirken sich ebenfalls auf die Messergebnisse aus. Unsicherheiten ergeben sich daraus, dass diese Effekte sich nicht immer durch die Modellierung ausgleichen lassen.
An den Standorten der WEA 1 bis 4 wirken sich die Rauhigkeiten und die Hindernisse in Form von Wäldern stark aus. Mit steigender Nabenhöhe nehmen diese Unsicherheiten ab (siehe auch Kapitel Lagebeschreibung und Vorgehensweise).

Orographie: Orographie-Effekte haben bei der Messung in Schlierbach ebenfalls eine Auswirkung auf die Messergebnisse.
Bei den WEA 1 bis 4 sind Orographie-Effekte möglich, die sich nicht ausreichend durch die Modellierung darstellen lassen. Näheres in Kapiteln Lagebeschreibung und Vorgehensweise

Langzeitabgleich: Bei den Unsicherheiten des Langzeitabgleichs wurden die Unsicherheiten bezüglich der Entfernung von den Messstandorten Schlierbach und Uetliberg sowie der Zeitraum der Langzeit- und Messdaten berücksichtigt.

Leistungskennlinien: Angaben zu den verwendeten Leistungskennlinien befinden sich im Anhang. Mit der Bewertung wurde der Tatsache Rechnung getragen, dass die Leistungskennlinien vom Hersteller berechnet wurden.

Die Überschreitungswahrscheinlichkeiten

Sind Energieerträge berechnet und zusätzlich die Unsicherheitsfaktoren bestimmt worden, ist es von Interesse, mit welcher Wahrscheinlichkeit die prognostizierten Erträge im langjährigen Mittel erreicht werden. Es werden die P-Werte ermittelt. Die P-Werte bezeichnen die Überschreitungswahrscheinlichkeiten. Bei den in Tabelle 3 angegebenen langjährig zu erwartenden mittleren

Erträgen kann mit Wahrscheinlichkeiten von jeweils 50 % damit gerechnet werden, dass die Erträge unter- bzw. überschritten werden. Dies entspräche einen P-Wert P 50.
Wird ein P-Wert, beispielsweise P 90, berechnet, bedeutet dies, dass dieser Wert mit 90-prozentiger Wahrscheinlichkeit nicht unterschritten wird und mit 10-prozentiger Wahrscheinlichkeit geringere Erträge erzielt werden.

In Tabelle 5 sind in der ersten Spalte die Überschreitungswahrscheinlichkeiten angegeben. In der zweiten Spalte sind Prozentsätze angegeben, die mithilfe der Überschreitungswahrscheinlichkeit und der Gesamtunsicherheit von 13,463 (vgl. Tabelle 4) errechnet wurden. Für jede Überschreitungswahrscheinlichkeit gibt es somit einen Prozentsatz, um den die Erträge von den errechneten Erträgen abweichen.

Farblich hervorgehoben sind die Werte P 50, mit Erträgen der Windparks aus Tabelle 3, die mit der angewendeten Methode berechnet wurden und die häufig bei Wirtschaftlichkeitsberechnungen angewendeten P 75 und P 90 Werte.

		Nabenhöhe 85m		Nabenhöhe 98m		Nabenhöhe 108m	
Wahrscheinlichkeit der Überschreitung	Abweichung vom errechneten Wert	Park 2.000 kW	Park 2.300 kW	Park 2.000 kW	Park 2.300 kW	Park 2.000 kW	Park 2.300 kW
95%	-22,1%	10.038.044	10.167.362	10.903.562	11.081.617	11.482.572	11.757.557
90%	-17,3%	10.668.668	10.806.110	11.588.561	11.777.802	12.203.946	12.496.207
85%	-14,0%	11.094.147	11.237.070	12.050.726	12.247.514	12.690.654	12.994.570
80%	-11,3%	11.432.304	11.579.584	12.418.040	12.620.827	13.077.473	13.390.653
75%	-9,1%	11.722.413	11.873.430	12.733.163	12.941.096	13.409.330	13.730.458
70%	-7,1%	11.982.940	12.137.313	13.016.153	13.228.707	13.707.348	14.035.612
65%	-5,2%	12.224.356	12.381.840	13.278.386	13.495.222	13.983.506	14.318.384
60%	-3,4%	12.453.437	12.613.872	13.527.219	13.748.119	14.245.553	14.586.706
55%	-1,7%	12.675.076	12.838.366	13.767.968	13.992.799	14.499.086	14.846.311
50%	0,0%	12.893.200	13.059.300	14.004.900	14.233.600	14.748.600	15.101.800
45%	1,7%	13.111.324	13.280.234	14.241.832	14.474.401	14.998.114	15.357.289
40%	3,4%	13.332.963	13.504.728	14.482.581	14.719.081	15.251.647	15.616.894
35%	5,2%	13.562.044	13.736.760	14.731.414	14.971.978	15.513.694	15.885.216
30%	7,1%	13.803.460	13.981.287	14.993.647	15.238.493	15.789.852	16.167.988
25%	9,1%	14.063.987	14.245.170	15.276.637	15.526.104	16.087.870	16.473.142
20%	11,3%	14.354.096	14.539.016	15.591.760	15.846.373	16.419.727	16.812.947
15%	14,0%	14.692.253	14.881.530	15.959.074	16.219.686	16.806.546	17.209.030
10%	17,3%	15.117.732	15.312.490	16.421.239	16.689.398	17.293.254	17.707.393
5%	22,1%	15.748.356	15.951.238	17.106.238	17.385.583	18.014.628	18.446.043

Tabelle 5: Überschreitungswahrscheinlichkeiten, wie im vorangegangenen Text erläutert

9. Einschätzung zur Nutzung des Standorts

Die Begutachtung des Standorts Kirchleerau-Kulmerau war aufgrund der geringen Entfernung zu der vorhandenen Windmessung Schlierbach gut durchführbar. Auch die Messstation Uetliberg mit ihren verfügbaren Daten ist geeignet. Die Verwendung einer Windmessung und die Anwendung der CFD-Modellierung mit der Software WindSim sind angemessene Methoden für dieses eher komplexe Gelände.

Die Daten aus Tabelle 5 mit den P-Werten sollten beachtet werden, um die Unsicherheiten abzuschätzen. Es besteht eine gute Chance, dass der P-Wert 50 erreicht wird, für Wirtschaftlichkeitsberechnungen sollten aber P-Werte, die zwischen 75 und 90 liegen, gewählt werden.

Es bestünde noch die Möglichkeit WEA-Typen mit Nabenhöhen zwischen 120 m und 150 m und Rotordurchmessern von 100 m bis 120 m zu verwenden. Hierbei wären weitere Modellierungen und eventuell Lidar Windmessungen sinnvoll.

10. Schlussbemerkungen zum Gutachten

In diesem Gutachten kamen allgemein anerkannte Methoden zur Berechnung der Windverhältnisse zur Anwendung. Es bestehen jedoch Unsicherheiten hinsichtlich der angewendeten Methode und aufgrund verschiedener klimatologischer Phänomene, die sich nicht ausreichend quantifizieren lassen und die nicht immer im digitalen Geländemodell berücksichtigt werden können.

Die Erstellung dieses Gutachtens erfolgte nach besten Wissen und Gewissen.

Aufgrund der dargestellten Sachverhalte und Unsicherheiten kann für das Eintreffen der Ergebnisse dieses Gutachtens am Standort Kirchleerau-Kulmerau keine Haftung übernommen werden.

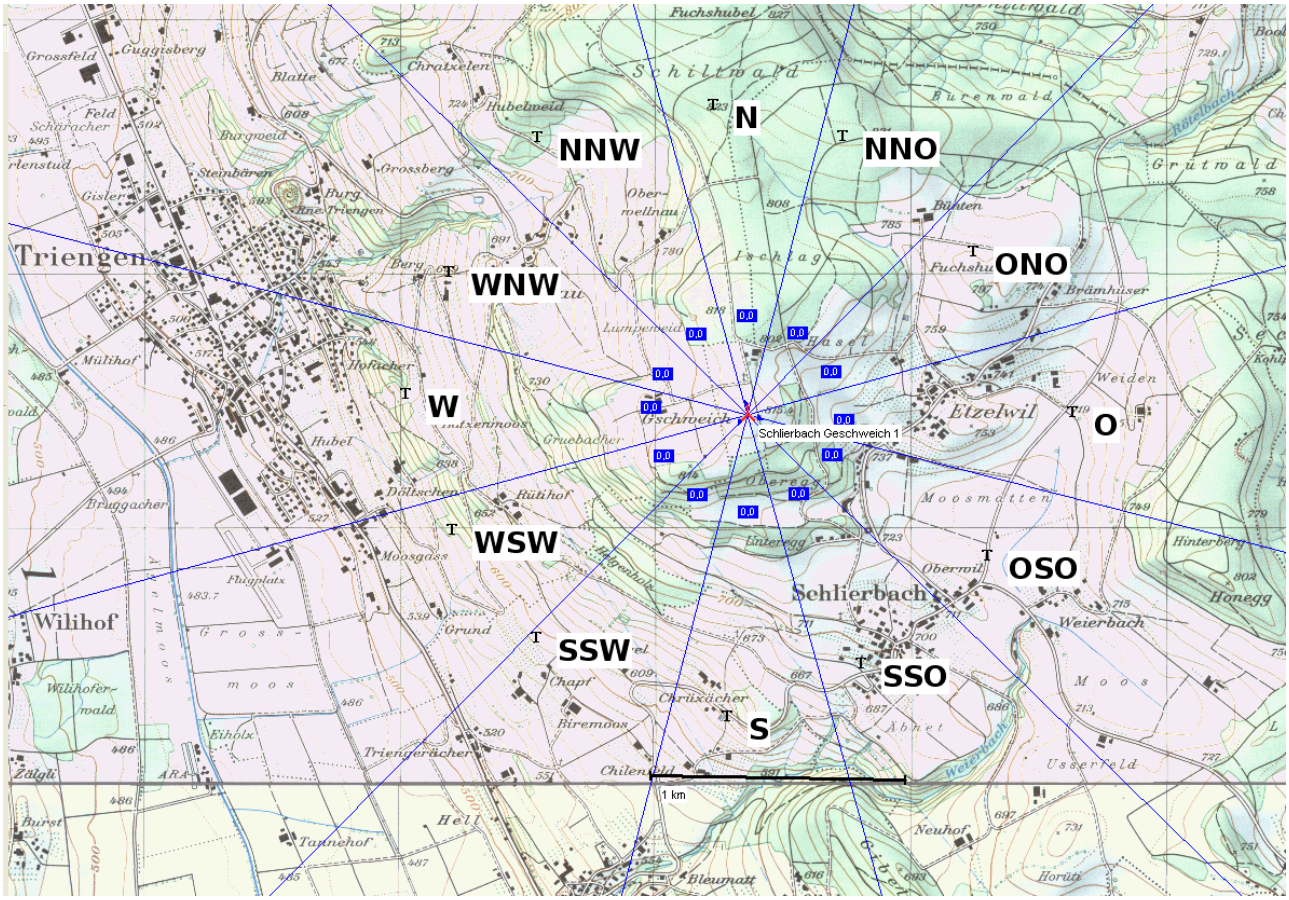
Kirchzarten 04. Oktober 2013

Johannes Hagemann
JH Wind GmbH

Anhänge:

Messung in Schlierbach

Um die Windverhältnisse des begutachteten Standorts zu ermitteln, wurden die Daten der Messstation Schlierbach mit einem Anemometer auf 65 m Höhe verwendet. Hierbei wurden die gemessenen Daten vom 02.09.2007 bis 23.09.2008 der gesamten Messperiode angewendet.



Karte 1: Messstandort Schlierbach mit den 12 Sektoren

Die gemessenen Daten wiesen insgesamt eine Verfügbarkeit von 93,2 % auf, monatliche Verfügbarkeiten in folgender Tabelle:

Sep 07	Okt 07	Nov 07	Dez 07	Jan 08	Feb 08	Mrz 08	Apr 08	Mai 08	Jun 08	Jul 08	Aug 08	Sep 08
98,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	68,7%	98,0%	72,5%	97,9%	99,9%	100,0%	100,0%	76,5%

Tabelle 1: monatliche Verfügbarkeiten der Messungen

Mit einer Entfernung von ca. 2,5 km bis 4 km zu den WEA 1 bis 4 ist die Messung zur Übertragung auf den begutachteten Standort geeignet. Es wurde mit kalibrierten Anemometern gemessen, unplausible Daten wurden entfernt.

Am 02.09.2007 fand eine Begehung des Messstandorts statt. Die Anemometer und Teile des Masts wurden von Johannes Hagemann besichtigt. Später fand eine Besichtigung des stehenden Masts statt und weitere Begehungen jeweils bei für die Erstellung von Gutachten in denen die gemessenen Daten verwendet wurden.

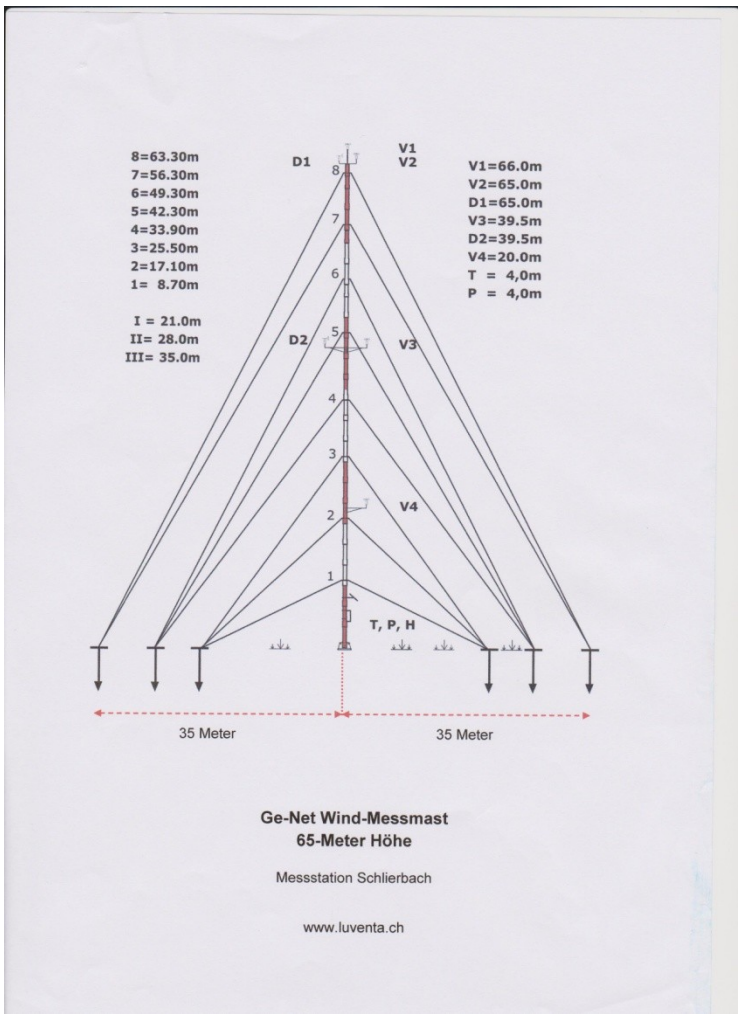


Abbildung 1: Skizze Messmast von Ge Net

Plan des Masts von Ge Net geliefert. Die Anemometer waren jedoch folgendermaßen verteilt: V1 entspricht V1, V2 liegt dort wo V3 angegeben ist, und V3 liegt dort wo in der Skizze V4 angegeben ist. Es gab einen Windrichtungsgeber D1 in der Skizze D2.

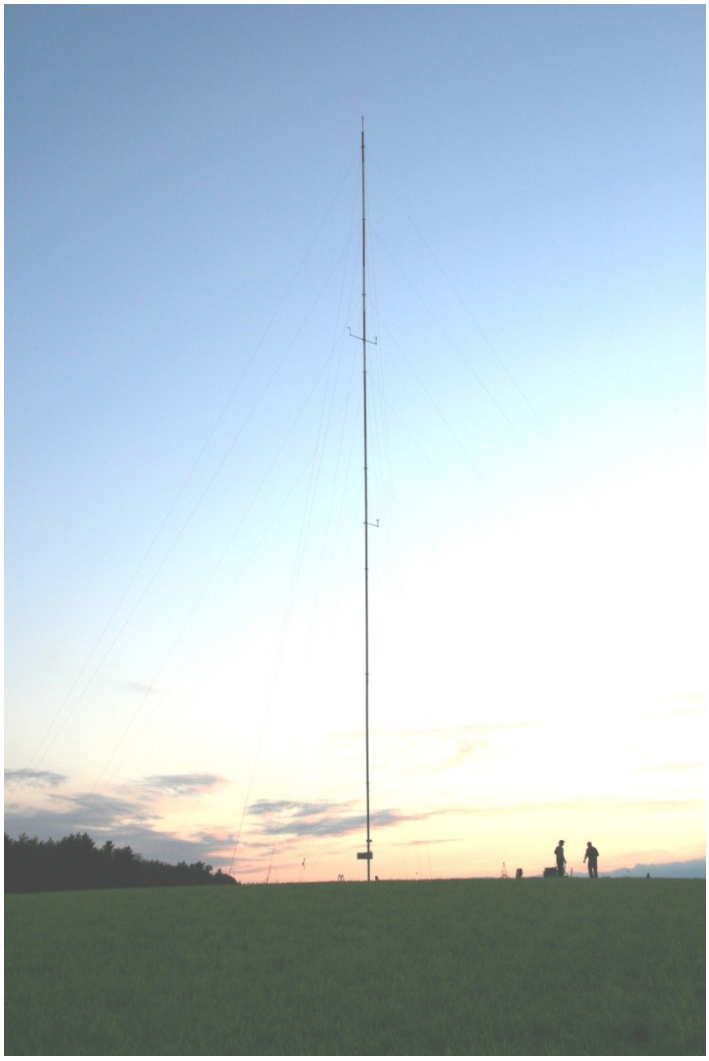


Foto 1: Messmast mit den drei genannten Anemometern und dem Windrichtungsgeber

Foto 2: Datenlogger der Messung, erkennbar der Eingang von einem Windrichtungsgeber und 3Anemometern.

Anemometer V1 Kalibrierung

Foto 3 Anemometer V 1

DEUTSCHER KALIBRIERDIENST DKD

Kalibrierlaboratorium für Strömungsgeschwindigkeit von Luft
Calibration laboratory for velocity of air flow
Akkreditiert durch die / *accredited by the*
Akkreditierungsstelle des DKD bei der
PHYSIKALISCH-TECHNISCHEN BUNDESANSTALT (PTB)

Deutsche WindGuard
Wind Tunnel Services GmbH
Varel

Deutscher Akkreditierungs Rat
DAR
DKD-K- 36801

Kalibrierschein
Calibration Certificate

Kalibrierzeichen / *Calibration label*: DKD-K- 36801 / 07_2214

Gegenstand *Object*	Cup Anemometer
Hersteller *Manufacturer*	Thies Clima D-37083 Göttingen
Typ *Type*	4.3303.22.007
Fabrikat/Serien-Nr. *Serial number*	Body: 0801435 Cup: 0801435
Auftraggeber *Customer*	GE:NET GmbH 38678 Clausthal-Zellerfeld
Auftragsnummer *Order No.*	VT07240
Anzahl der Seiten des Kalibrierscheines *Number of pages of the certificate*	3
Datum der Kalibrierung *Date of calibration*	26.06.2007

Dieser Kalibrierschein dokumentiert die Rückführung auf nationale Normale zur Darstellung der Einheiten in Übereinstimmung mit dem Internationalen Einheitensystem (SI).
Der DKD ist Unterzeichner der multi- lateralen Übereinkommen der European co-operation for Accreditation (EA) und der International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) zur gegenseitigen Anerkennung der Kalibrierscheine.
Für die Einhaltung einer angemessenen Frist zur Wiederholung der Kalibrierung ist der Benutzer verantwortlich.
This calibration certificate documents the traceability to national standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).
The DKD is signatory to the multilateral agreements of the European co-operation for Accreditation (EA) and of the International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) for the mutual recognition of calibration certificates.
The user is obliged to have the object recalibrated at appropriate intervals.

Dieser Kalibrierschein darf nur vollständig und unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge oder Änderungen bedürfen der Genehmigung sowohl der Akkreditierungsstelle des DKD als auch des ausstellenden Kalibrierlaboratoriums. Kalibrierscheine ohne Unterschrift und Stempel haben keine Gültigkeit.
This calibration certificate may not be reproduced other than in full except with the permission of both the Accreditation Body of the DKD and the issuing laboratory. Calibration certificates without signature and seal are not valid.

Stempel *Seal*	Datum *Date*	Leiter des Kalibrierlaboratoriums *Head of the calibration laboratory*	Bearbeiter *Person in charge*
Deutscher DKD-K- 36801 Kalibrierdienst	26.06.2007	Dipl. Phys. D. Westermann	Tech. Ass. Inf. H. Westermann

Deutsche WindGuard Wind Tunnel Services GmbH
Oldenburger Str. 65
26316 Varel ; Tel. ++49 (0)4451 9515 0

Seite 2
Page

DKD-K-
36801
07_2214

Kalibriergegenstand *Object*	Cup Anemometer	
Kalibrierverfahren *Calibration procedure*	MEASNET - Cup Anemometer Calibration Procedure – 09 1997 ISO 3966 – Measurement of fluid in closed conduits - 1977	
Ort der Kalibrierung *Place of calibration*	Windtunnel of Deutsche WindGuard, Varel	
Messbedingungen *Test Conditions*	wind tunnel area [1]	10000 cm²
	anemometer frontal area [2]	460 cm²
	diameter of mounting pipe [3]	48 mm
	blockage ratio [4]	0.046 [-]
	blockage correction [5]	0.994 [-]
	average WindGuard reference [6]	198.5 1/s (Thies Classic)
	present WindGuard reference [7]	198.5 1/s
Umgebungsbedingungen *Test conditions*	air temperature	21.6 deg ± 1.0 K
	air pressure	991.3 hPa ± 1.0 hPa
	relative air humidity	57.0 % ± 2.5 %
Dateiinformation *File info*	C:\ak\aktuell\07_2214.kor	
Anmerkungen *Remarks*	-	
Auswertesoftware *Software version*	2.0	

[1] Querschnittsfläche der Auslassdüse des Windkanals
[2] Vereinfachte Querschnittsfläche (Schattenwurf) des Prüflings inkl. Montagerohr
[3] Durchmesser des Montagerohrs
[4] Verhältnis von 2) zu 1)
[5] Korrekturfaktor durch die Verdrängung der Strömung durch den Prüfling
[6] Referenzwert des Referenzanemometers bei 10 m/s (Mittelwert)
[7] Aktueller Wert des Referenzanemometers

Dieser Kalibrierschein wurde elektronisch erzeugt
This calibration certificate has been generated electronically

Deutsche WindGuard Wind Tunnel Services GmbH
Oldenburger Str. 65
26316 Varel ; Tel. ++49 (0)4451 9515 0

Deutsche WindGuard Wind Tunnel Services GmbH

Seite 3
Page

DKD-K-
36801
07_2214

Kalibrierergebnis:
Result:

Anzeige Pruefling	Stroemungs-geschwindigkeit	Erweiterte Messunsicherheit
1/s	m/s	m/s
78.879	4.139	0.10
118.046	6.067	0.10
157.309	7.934	0.10
198.864	9.858	0.10
240.109	11.832	0.10
282.142	13.807	0.10
322.234	15.690	0.11
301.652	14.726	0.10
258.935	12.709	0.10
217.666	10.761	0.10
176.720	8.833	0.10
136.982	6.990	0.10
98.265	5.100	0.10

Angegeben ist die erweiterte Messunsicherheit, die sich aus der Standardmessunsicherheit durch Multiplikation mit dem Erweiterungsfaktor k=2 ergibt. Sie wurde gemäß DKD-3 ermittelt. Der Wert liegt mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % im zugeordneten Wertintervall.

The expanded measurement uncertainty which results from the multiplication of the standard measurement uncertainty and the coverage factor K= 2 is given. It is determined in conformity with DKD-3. (German Calibration Body) The magnitude lies in an interval with a 95% level of confidence.

Der Deutsche Kalibrierdienst ist Unterzeichner der multilateralen Übereinkommen der European co-operation for Accreditation (EA) und der International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) zur gegenseitigen Anerkennung der Kalibrierscheine. Die anderen Unterzeichner aus Europa sind zur Zeit die Akkreditierungsstellen in Belgien, Dänemark, Finnland, Frankreich, Irland, Italien, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Spanien, der Tschechischen Republik und dem Vereinigten Königreich. Außerhalb Europas sind zur Zeit Akkreditierungsstellen der Länder Australien, Brasilien, China, Indien, Japan, Kanada, Neuseeland, Singapur, Südafrika, Taiwan, Vereinigte Staaten von Amerika und Vietnam Mitunterzeichner der Übereinkommen.

The German Calibration Service is signatory of the multilateral agreement of the European Cooperation for Accreditation (EA) and the International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) for the mutual acceptance of calibration certificates. The other European signatories are currently the accreditation offices in Belgium, Denmark, Finland, France, Ireland, Italy, The Netherlands, Norway, Austria, Portugal, Sweden, Switzerland, Slovakia, Spain, Czech Republic and the United Kingdom. Outside Europe, the accreditation offices are found in Australia, Brazil, China, India, Japan, Canada, New Zealand, Singapore, South Africa, Taiwan, United States of America and Vietnam as cosignatory of the agreement.

Deutsche WindGuard Wind Tunnel Services GmbH
Oldenburger Str. 65
26316 Varel ; Tel. ++49 (0)4451 9515 0

Deutsche WindGuard Wind Tunnel Services GmbH

Anhang 1
Annex

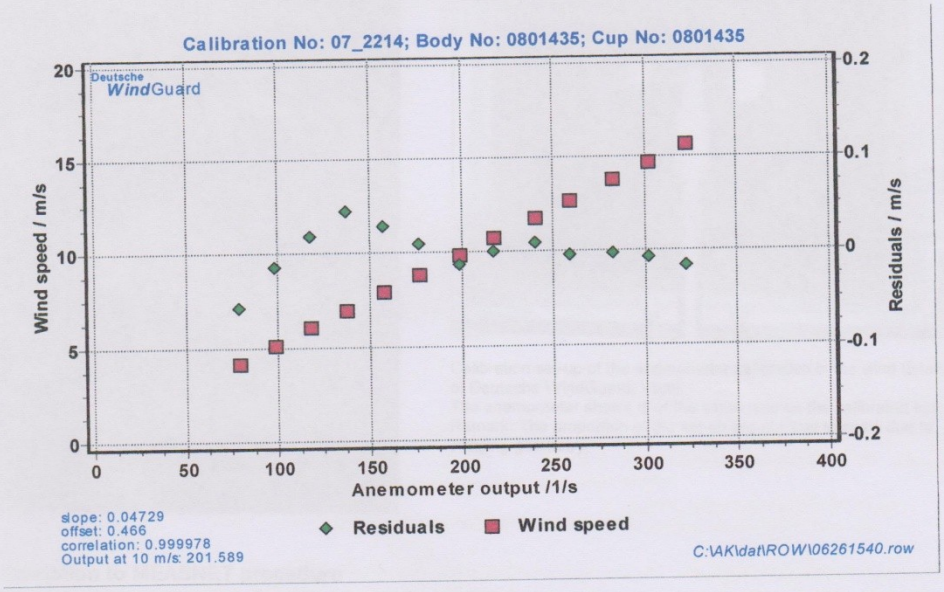
1 Detailed MEASNET[1] Calibration Results

DKD calibration no.	07_2214
Body no.	0801435
Cup no.	0801435
Date	26.06.2007
Air temperature	21.6 deg
Air pressure	991.3 hPa
Humidity	57.0 %

Linear regression analysis

Slope	0.04729 (m/s)/(1/s) ±0.00009 (m/s)/(1/s)
Offset	0.466 m/s ±0.020 m/s
St.err(Y)	0.020 m/s
Correlation coefficient	0.999978

Remarks no



[1]) According to MEASNET Cup Anemometer Calibration Procedure 09/1997.
Deutsche WindGuard Wind Tunnel Services is accredited by MEASNET and by the Deutscher Kalibrierdienst – DKD (German Calibration Service) and Physikalisch Technische Bundesanstalt – PTB (Federal Office for Physics and Technique). Registration: DKD – K – 36801

Deutsche WindGuard Wind Tunnel Services GmbH
Oldenburger Str. 65
26316 Varel ; Tel. ++49 (0)4451 9515 0

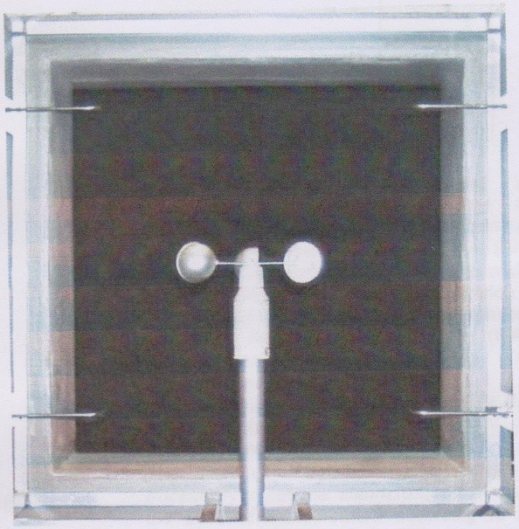
Anhang 1
Annex

2 Instrumentation

Pos.	Sensor	Manufa.	Identification	Year	Calibration
1	Pitot static tube	Airflow	483/8 Nr. 000142	02	06/02
2	Pitot static tube	Airflow	483/8 Nr. 000143	02	06/02
3	Pitot static tube	Airflow	483/8 Nr. 000144	02	06/02
4	Pitot static tube	Airflow	483/8 Nr. 000145	02	06/02
5	Pressure transducer	Setra	C 239 Nr. 1688081	02	12/04
6	Pressure transducer	Setra	C 239 Nr. 1688082	02	12/04
7	Pressure transducer	Setra	C 239 Nr. 1688083	02	12/04
8	Pressure transducer	Setra	C 239 Nr. 1688084	02	12/04
9	El. Barometer	Vaisala	100 A Nr. X2010004	02	12/04
10	El. Thermometer	Galltec	KPK 1/6-ME	02	12/04
11	El. Humidity sensor	Galltec	KPK 1/6-ME	02	12/04
12	Wind tunnel control	-	-	-	-
13	CAN-BUS / PC	esd	-	04	05/04
14	Anemometer		-		
15	Universal Isolator	Knick	P2700 - 58285/8198430	05	01/06

Table 1 Description of the data acquisition system

3 Photo of the calibration set-up



Calibration set-up of the anemometer calibration in the wind tunnel of Deutsche WindGuard, Varel.
The anemometer shown is of the same type as the calibrated one.
Remark: The proportion of the set-up are not true to scale due to imaging geometry.

4 Deviation to MEASNET procedure

The calibration procedure is in all aspects in accordance with the IEC 61400-12-1 Procedure

5 References

[1] J. Mander, D. Westermann, 04 2007 - Verfahrensanweisung DKD-Kalibrierung von Windgeschwindigkeitssensoren
[2] IEC 61400-12-1 12/2005 - Wind Turbine Power Performance Testing
[3] ISO 3966 1977 - Measurement of fluid flow in closed conduits
[4] MEASNET 09 1997 - Cup Anemometer Calibration Procedure

Deutsche WindGuard Wind Tunnel Services GmbH
Oldenburger Str. 65
26316 Varel ; Tel. ++49 (0)4451 9515 0

Anemometer V2 Kalibrierung

Foto 4 Anemometer V 2

Foto 5 Anemometer V2 und Windrichtungsgeber D1

Foto 6 Windrichtungsgeber D1

DEUTSCHER KALIBRIERDIENST DKD

Kalibrierlaboratorium für Strömungsgeschwindigkeit von Luft
Calibration laboratory for velocity of air flow
Akkreditiert durch die / *accredited by the*
Akkreditierungsstelle des DKD bei der
PHYSIKALISCH-TECHNISCHEN BUNDESANSTALT (PTB)

Deutsche WindGuard
Wind Tunnel Services GmbH
Varel

Deutscher Akkreditierungs Rat
DAR
DKD-K- 36801

V2

Kalibrierschein
Calibration Certificate

Kalibrierzeichen
Calibration label

DKD-K-
36801
07_2211

Gegenstand *Object*	Cup Anemometer
Hersteller *Manufacturer*	Thies Clima D-37083 Göttingen
Typ *Type*	4.3303.22.000
Fabrikat/Serien-Nr. *Serial number*	Body: 0201626 Cup: 0201626
Auftraggeber *Customer*	GE:NET GmbH 38678 Clausthal-Zellerfeld
Auftragsnummer *Order No.*	VT07240
Anzahl der Seiten des Kalibrierscheines *Number of pages of the certificate*	3
Datum der Kalibrierung *Date of calibration*	26.06.2007

Dieser Kalibrierschein dokumentiert die Rückführung auf nationale Normale zur Darstellung der Einheiten in Übereinstimmung mit dem Internationalen Einheitensystem (SI).
Der DKD ist Unterzeichner der multi- lateralen Übereinkommen der European co-operation for Accreditation (EA) und der International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) zur gegenseitigen Anerkennung der Kalibrierscheine.
Für die Einhaltung einer angemessenen Frist zur Wiederholung der Kalibrierung ist der Benutzer verantwortlich.
This calibration certificate documents the traceability to national standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).
The DKD is signatory to the multilateral agreements of the European co-operation for Accreditation (EA) and of the International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) for the mutual recognition of calibration certificates.
The user is obliged to have the object recalibrated at appropriate intervals.

Dieser Kalibrierschein darf nur vollständig und unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge oder Änderungen bedürfen der Genehmigung sowohl der Akkreditierungsstelle des DKD als auch des ausstellenden Kalibrierlaboratoriums. Kalibrierscheine ohne Unterschrift und Stempel haben keine Gültigkeit.
This calibration certificate may not be reproduced other than in full except with the permission of both the Accreditation Body of the DKD and the issuing laboratory. Calibration certificates without signature and seal are not valid.

Stempel *Seal*	Datum *Date*	Leiter des Kalibrierlaboratoriums *Head of the calibration laboratory*	Bearbeiter *Person in charge*
Deutscher DKD-K- 36801 Kalibrierdienst	26.06.2007	Dipl. Phys. D. Westermann	Tech. Ass. Inf. H. Westermann

Deutsche WindGuard Wind Tunnel Services GmbH
Oldenburger Str. 65
26316 Varel ; Tel. ++49 (0)4451 9515 0

Deutsche WindGuard Wind Tunnel Services GmbH

Seite 2
Page

DKD-K-
36801
07_2211

Kalibriergegenstand *Object*	Cup Anemometer	
Kalibrierverfahren *Calibration procedure*	MEASNET - Cup Anemometer Calibration Procedure – 09 1997 ISO 3966 – Measurement of fluid in closed conduits - 1977	
Ort der Kalibrierung *Place of calibration*	Windtunnel of Deutsche WindGuard, Varel	
Messbedingungen *Test Conditions*	wind tunnel area [1]	10000 cm²
	anemometer frontal area [2]	460 cm²
	diameter of mounting pipe [3]	48 mm
	blockage ratio [4]	0.046 [-]
	blockage correction [5]	0.994 [-]
	average WindGuard reference [6]	198.5 1/s (Thies Classic)
	present WindGuard reference [7]	198.5 1/s
Umgebungsbedingungen *Test conditions*	air temperature	21.4 deg ± 1.0 K
	air pressure	988.9 hPa ± 1.0 hPa
	relative air humidity	57.1 % ± 2.5 %
Dateiinformation *File info*		C:\ak\aktuell\07_2211.kor
Anmerkungen *Remarks*		-
Auswertesoftware *Software version*		2.0

[1] Querschnittsfläche der Auslassdüse des Windkanals
[2] Vereinfachte Querschnittsfläche (Schattenwurf) des Prüflings inkl. Montagerohr
[3] Durchmesser des Montagerohrs
[4] Verhältnis von 2) zu 1)
[5] Korrekturfaktor durch die Verdrängung der Strömung durch den Prüfling
[6] Referenzwert des Referenzanemometers bei 10 m/s (Mittelwert)
[7] Aktueller Wert des Referenzanemometers

Dieser Kalibrierschein wurde elektronisch erzeugt
This calibration certificate has been generated electronically

Deutsche WindGuard Wind Tunnel Services GmbH
Oldenburger Str. 65
26316 Varel ; Tel. ++49 (0)4451 9515 0

Deutsche WindGuard Wind Tunnel Services GmbH

Seite 3
Page

DKD-K-
36801
07_2211

Kalibrierergebnis:
Result:

Anzeige Pruefling	Stroemungs-geschwindigkeit	Erweiterte Messunsicherheit
1/s	m/s	m/s
78.748	4.131	0.10
118.166	6.056	0.10
157.706	7.951	0.10
198.988	9.863	0.10
241.367	11.836	0.10
281.937	13.738	0.10
325.361	15.692	0.11
304.052	14.725	0.10
260.142	12.703	0.10
218.505	10.765	0.10
176.672	8.815	0.10
136.866	6.976	0.10
98.754	5.119	0.10

Angegeben ist die erweiterte Messunsicherheit, die sich aus der Standardmessunsicherheit durch Multiplikation mit dem Erweiterungsfaktor k=2 ergibt. Sie wurde gemäß DKD-3 ermittelt. Der Wert liegt mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % im zugeordneten Wertintervall.

The expanded measurement uncertainty which results from the multiplication of the standard measurement uncertainty and the coverage factor K= 2 is given. It is determined in conformity with DKD-3. (German Calibration Body) The magnitude lies in an interval with a 95% level of confidence.

Der Deutsche Kalibrierdienst ist Unterzeichner der multilateralen Übereinkommen der European co-operation for Accreditation (EA) und der International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) zur gegenseitigen Anerkennung der Kalibrierscheine. Die anderen Unterzeichner aus Europa sind zur Zeit die Akkreditierungsstellen in Belgien, Dänemark, Finnland, Frankreich, Irland, Italien, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Spanien, der Tschechischen Republik und dem Vereinigten Königreich. Außerhalb Europas sind zur Zeit Akkreditierungsstellen der Länder Australien, Brasilien, China, Indien, Japan, Kanada, Neuseeland, Singapur, Südafrika, Taiwan, Vereinigte Staaten von Amerika und Vietnam Mitunterzeichner der Übereinkommen.

The German Calibration Service is signatory of the multilateral agreement of the European Cooperation for Accreditation (EA) and the International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) for the mutual acceptance of calibration certificates. The other European signatories are currently the accreditation offices in Belgium, Denmark, Finland, France, Ireland, Italy, The Netherlands, Norway, Austria, Portugal, Sweden, Switzerland, Slovakia, Spain, Czech Republic and the United Kingdom. Outside Europe, the accreditation offices are found in Australia, Brazil, China, India, Japan, Canada, New Zealand, Singapore, South Africa, Taiwan, United States of America and Vietnam as cosignatory of the agreement.

Deutsche WindGuard Wind Tunnel Services GmbH
Oldenburger Str. 65
26316 Varel ; Tel. ++49 (0)4451 9515 0

Deutsche WindGuard Wind Tunnel Services GmbH

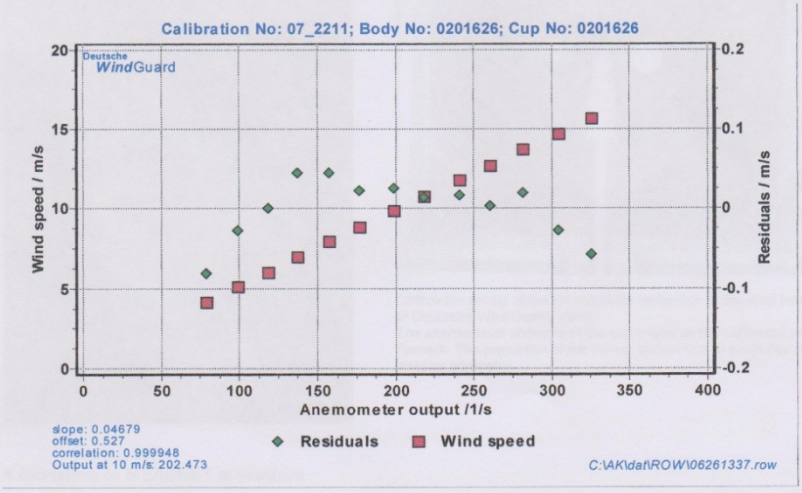
Anhang 1
Annex

1 Detailed MEASNET[1] Calibration Results

DKD calibration no.	07_2211
Body no.	0201626
Cup no.	0201626
Date	26.06.2007
Air temperature	21.4 deg
Air pressure	988.9 hPa
Humidity	57.1 %

Linear regression analysis

Slope	0.04679 (m/s)/(1/s) ±0.00014 (m/s)/(1/s)
Offset	0.527 m/s ±0.031 m/s
St.err(Y)	0.036 m/s
Correlation coefficient	0.999948
Remarks	no



[1]) According to MEASNET Cup Anemometer Calibration Procedure 09/1997.
Deutsche WindGuard Wind Tunnel Services is accredited by MEASNET and by the Deutscher Kalibrierdienst – DKD (German Calibration Service) and Physikalisch Technische Bundesanstalt – PTB (Federal Office for Physics and Technique). Registration: DKD – K – 36801

Deutsche WindGuard Wind Tunnel Services GmbH
Oldenburger Str. 65
26316 Varel ; Tel. ++49 (0)4451 9515 0

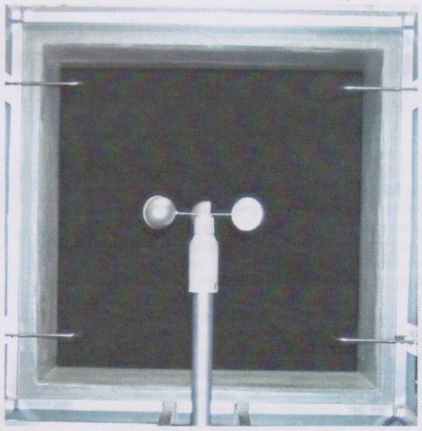
Anhang 1
Annex

2 Instrumentation

Pos.	Sensor	Manufa.	Identification	Year	Calibration
1	Pitot static tube	Airflow	483/8 Nr. 000142	02	06/02
2	Pitot static tube	Airflow	483/8 Nr. 000143	02	06/02
3	Pitot static tube	Airflow	483/8 Nr. 000144	02	06/02
4	Pitot static tube	Airflow	483/8 Nr. 000145	02	06/02
5	Pressure transducer	Setra	C 239 Nr. 1688081	02	12/04
6	Pressure transducer	Setra	C 239 Nr. 1688082	02	12/04
7	Pressure transducer	Setra	C 239 Nr. 1688083	02	12/04
8	Pressure transducer	Setra	C 239 Nr. 1688084	02	12/04
9	El. Barometer	Vaisala	100 A Nr. X2010004	02	12/04
10	El. Thermometer	Galltec	KPK 1/6-ME	02	12/04
11	El. Humidity sensor	Galltec	KPK 1/6-ME	02	12/04
12	Wind tunnel control	-	-	-	-
13	CAN-BUS / PC	esd	-	04	05/04
14	Anemometer		-		
15	Universal Isolator	Knick	P2700 - 58285/8198430	05	01/06

Table 1 Description of the data acquisition system

3 Photo of the calibration set-up



Calibration set-up of the anemometer calibration in the wind tunnel of Deutsche WindGuard, Varel.
The anemometer shown is of the same type as the calibrated one.
Remark: The proportion of the set-up are not true to scale due to imaging geometry.

4 Deviation to MEASNET procedure

The calibration procedure is in all aspects in accordance with the IEC 61400-12-1 Procedure

5 References

[1] J. Mander, D. Westermann, 04 2007 - Verfahrensanweisung DKD-Kalibrierung von Windgeschwindigkeitssensoren
[2] IEC 61400-12-1 12/2005 - Wind Turbine Power Performance Testing
[3] ISO 3966 1977 - Measurement of fluid flow in closed conduits
[4] MEASNET 09 1997 - Cup Anemometer Calibration Procedure

Deutsche WindGuard Wind Tunnel Services GmbH
Oldenburger Str. 65
26316 Varel ; Tel. ++49 (0)4451 9515 0

Anemometer V1 Kalibrierung

Foto 7 Anemometer V 3

Foto 8 Anemometer V3

Kalibrierungsschein lag nicht vor, Daten im Gutachten nicht verwendet.

Leistungskennlinien

PARK - Leistungskennlinien-Analyse

WEA: 1 - ENERCON E-82 E2 2300 82.0 !O! Level 0 - calculated - Rev 3.0 - 02/2010, Nabenhöhe: 84,6 m

Name: Level 0 - calculated - Rev 3.0 - 02/2010
Quelle: Enercon

Quelle/Datum	Erzeugt von	Erzeugt	Bearbeitet	Abschaltwindgeschwindigkeit [m/s]	Leistungsbegrenzung	Ct-Kennlinientyp	Generatortyp	Leistungs-dichte kW/m²
25.02.2010	EMD	25.11.2009	05.03.2010	25,0	Pitch	Benutzerdefiniert	variabel	0,44

According to Enercon specification document SIAS-001-ct_E82_E2_2 3MW_Vers 3 1ger-ger.pdf. Revision number of PC is 3.0, Revision number of ct curve is 3.1.

HP-Kurven-Vergleich- Anmerkung: Für Standard-Luftdichte und Weibull-k-Parameter = 2

Vmittel	[m/s]	5	6	7	8	9	10
HP-Wert Pitch, variable speed (2013)	[MWh]	2.771	4.454	6.221	7.904	9.401	10.653
ENERCON E-82 E2 2300 82.0 !O! Level 0 - calculated - Rev 3.0 - 02/2010	[MWh]	3.050	4.801	6.614	8.321	9.823	11.062
Prüfwert	[%]	-9	-7	-6	-5	-4	-4

Vergleich zwischen den Erträgen, die mit den angegebenen Leistungskurven sowie den HP-Kennlinien (Vereinfachte, Herstellerunabhängige LK auf Basis der Parameter "kW Leistung/m² Rotorkreisfläche", "Ein- oder Zwei-Generator-System" und "Stall oder Pitch") berechnet wurden (ohne Parkeffekt).
Für weitere Details siehe Dänische Energieagentur, Projektbericht J.nr. 51171/00-0016 (siehe auch WindPRO-Handbuch Kapitel 3.5.2)
Die Methode wurde im EMD-Bericht "20 Detailed Case Studies comparing Project Design Calculations and actual Energy Productions for Wind Energy Projects worldwide", Jan. 2003, verfein
Verwenden Sie die Tabelle, um abzuschätzen, ob die angegebenen LK einleuchtend sind. Liegt der Prüfwert unter -5%, ist die LK eventuell aufgrund von Unsicherheiten bei der Vermessung optimistisch.

Leistungskennlinie

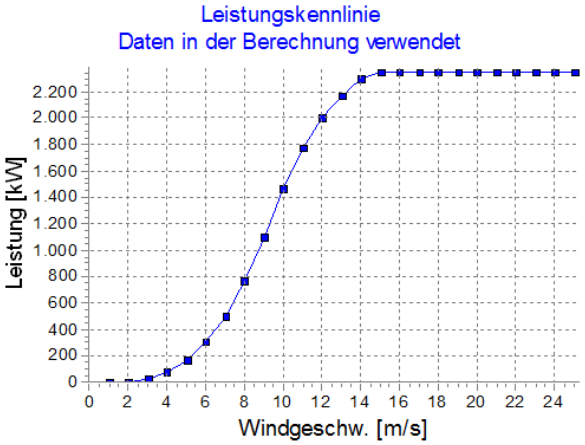
Originaldaten aus WEA-Katalog, Luftdichte: 1,225 kg/m³

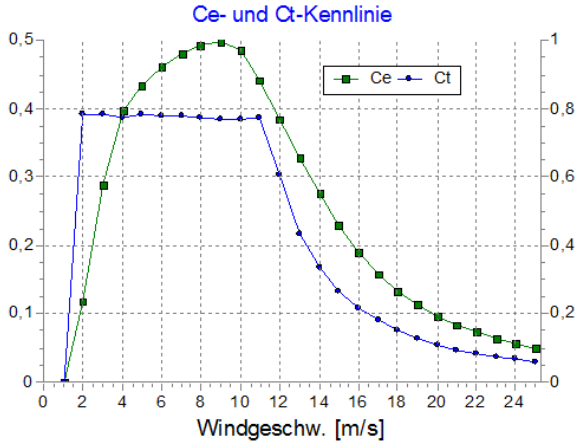
Windgeschw. [m/s]	Leistung [kW]	Ce	Windgeschw. [m/s]	Ct-Kurve
1,0	0,0	0,00	1,0	0,00
2,0	3,0	0,12	2,0	0,78
3,0	25,0	0,29	3,0	0,79
4,0	82,0	0,40	4,0	0,77
5,0	174,0	0,43	5,0	0,78
6,0	321,0	0,46	6,0	0,78
7,0	532,0	0,48	7,0	0,78
8,0	815,0	0,49	8,0	0,77
9,0	1.180,0	0,50	9,0	0,77
10,0	1.580,0	0,49	10,0	0,77
11,0	1.890,0	0,44	11,0	0,77
12,0	2.100,0	0,38	12,0	0,61
13,0	2.250,0	0,32	13,0	0,44
14,0	2.350,0	0,26	14,0	0,34
15,0	2.350,0	0,22	15,0	0,27
16,0	2.350,0	0,18	16,0	0,22
17,0	2.350,0	0,15	17,0	0,18
18,0	2.350,0	0,12	18,0	0,15
19,0	2.350,0	0,11	19,0	0,13
20,0	2.350,0	0,09	20,0	0,11
21,0	2.350,0	0,08	21,0	0,10
22,0	2.350,0	0,07	22,0	0,08
23,0	2.350,0	0,06	23,0	0,07
24,0	2.350,0	0,05	24,0	0,07
25,0	2.350,0	0,05	25,0	0,06

Leistung, Effizienz und Energie vs. Windgeschw.

Daten in der Berechnung verwendet, Luftdichte: 1,146 kg/m³ Neue WindPRO-Methode (Modifizierte IEC-Methode mit besserer Anpassung an WEA-Steuerung) <EMPFOHLEN>

Windgeschw. [m/s]	Leistung [kW]	Ce	Intervall [m/s]	Energie [MWh]	Akkum. Energie [MWh]	Relativ [%]
1,0	0,0	0,00	0,50- 1,50	0,6	0,6	0,0
2,0	2,9	0,12	1,50- 2,50	8,0	8,6	0,3
3,0	23,5	0,29	2,50- 3,50	38,8	47,5	1,6
4,0	76,8	0,40	3,50- 4,50	104,6	152,0	5,1
5,0	163,6	0,43	4,50- 5,50	196,9	349,0	11,8
6,0	301,1	0,46	5,50- 6,50	295,7	644,7	21,8
7,0	498,6	0,48	6,50- 7,50	376,0	1.020,6	34,5
8,0	763,4	0,49	7,50- 8,50	415,9	1.436,6	48,6
9,0	1.099,7	0,50	8,50- 9,50	407,0	1.843,6	62,3
10,0	1.468,2	0,49	9,50-10,50	353,1	2.196,7	74,3
11,0	1.777,9	0,44	10,50-11,50	271,0	2.467,6	83,4
12,0	2.005,1	0,38	11,50-12,50	187,5	2.655,1	89,8
13,0	2.171,7	0,33	12,50-13,50	121,7	2.776,8	93,9
14,0	2.293,2	0,28	13,50-14,50	76,1	2.852,9	96,5
15,0	2.350,0	0,23	14,50-15,50	45,7	2.898,6	98,0
16,0	2.350,0	0,19	15,50-16,50	26,5	2.925,1	98,9
17,0	2.350,0	0,16	16,50-17,50	15,0	2.940,1	99,4
18,0	2.350,0	0,13	17,50-18,50	8,3	2.948,4	99,7
19,0	2.350,0	0,11	18,50-19,50	4,5	2.952,9	99,8
20,0	2.350,0	0,10	19,50-20,50	2,4	2.955,2	99,9
21,0	2.350,0	0,08	20,50-21,50	1,2	2.956,5	100,0
22,0	2.350,0	0,07	21,50-22,50	0,6	2.957,1	100,0
23,0	2.350,0	0,06	22,50-23,50	0,3	2.957,4	100,0
24,0	2.350,0	0,06	23,50-24,50	0,1	2.957,5	100,0
25,0	2.350,0	0,05	24,50-25,50	0,0	2.957,5	100,0





WindPRO, entwickelt von EMD International A/S, Niels Jernesvej 10, DK-9220 Aalborg Ø, Tel. +45 96 35 44 44, Fax +45 96 35 44 46, e-mail: windpro@emd.dk

WAsP interface - Leistungskennlinien-Analyse

Berechnung: Schlierbach Uetliberg **WEA:** ENERCON E-82 2000 82.0 !O! Level 0 - guaranteed* - Rev. 2.0 - 06/2005, Nabenhöhe: 84,5 m

Name: Level 0 - guaranteed* - Rev. 2.0 - 06/2005
Quelle: ENERCON GmbH

Quelle/Datum	Erzeugt von	Erzeugt	Bearbeitet	Abschaltwindgeschwindigkeit [m/s]	Leistungsbegrenzung	Ct-Kennlinientyp	Generatortyp	Leistungs-dichte kW/m²
30.06.2005	EMD	27.11.2001	10.07.2006	25,0	Pitch	Benutzerdefiniert	variabel	0,38

* Uncertainties in measurement of power curves can lead to different power curves for the same turbine, so ENERCON uses calculated curves for energy calculations and guarantees. For reference and verification, measured power curves are available at ENERCON (not for use in energy calculations or guarantees!)

HP-Kurven-Vergleich- Anmerkung: Für Standard-Luftdichte und Weibull-k-Parameter = 2

Vmittel	[m/s]	5	6	7	8	9	10
HP-Wert Pitch, variable speed (2013)	[MWh]	2.736	4.317	5.924	7.414	8.712	9.779
ENERCON E-82 2000 82.0 !O! Level 0 - guaranteed* - Rev. 2.0 - 06/2005	[MWh]	3.034	4.719	6.406	7.945	9.263	10.323
Prüfwert	[%]	-10	-9	-8	-7	-6	-5

Vergleich zwischen den Erträgen, die mit den angegebenen Leistungskurven sowie den HP-Kennlinien (Vereinfachte, Herstellerunabhängige LK auf Basis der Parameter "kW Leistung/m² Rotorkreisfläche", "Ein- oder Zwei-Generator-System" und "Stall oder Pitch") berechnet wurden (ohne Parkeffekt).
Für weitere Details siehe Dänische Energieagentur, Projektbericht J.nr. 51171/00-0016 (siehe auch WindPRO-Handbuch Kapitel 3.5.2)
Die Methode wurde im EMD-Bericht "20 Detailed Case Studies comparing Project Design Calculations and actual Energy Productions for Wind Energy Projects worldwide", Jan. 2003, verfeinert
Verwenden Sie die Tabelle, um abzuschätzen, ob die angegebenen LK einleuchtend sind. Liegt der Prüfwert unter -5%, ist die LK eventuell aufgrund von Unsicherheiten bei der Vermessung zu optimistisch.

Leistungskennlinie

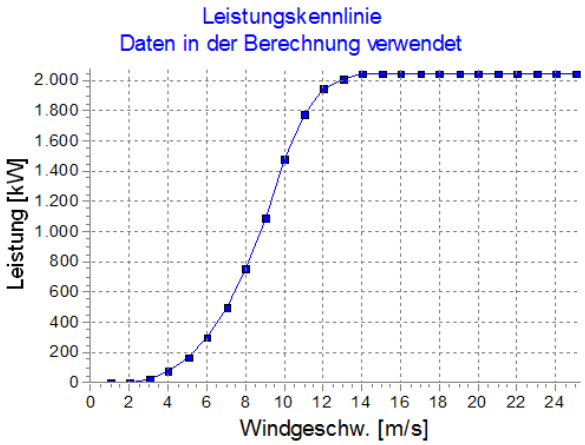
Originaldaten aus WEA-Katalog, Luftdichte: 1,225 kg/m³

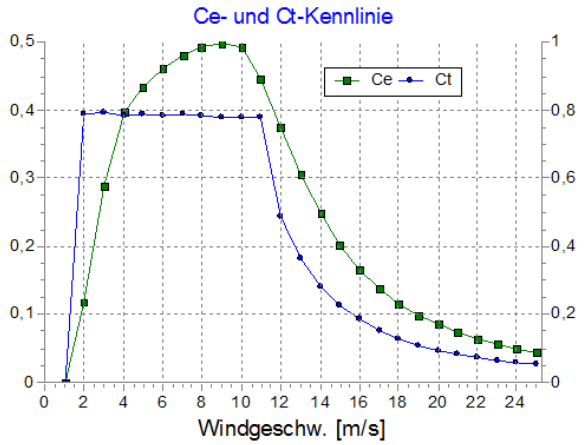
Windgeschw. [m/s]	Leistung [kW]	Ce	Windgeschw. [m/s]	Ct-Kurve
1,0	0,0	0,00	1,0	0,00
2,0	3,0	0,12	2,0	0,79
3,0	25,0	0,29	3,0	0,79
4,0	82,0	0,40	4,0	0,78
5,0	174,0	0,43	5,0	0,79
6,0	321,0	0,46	6,0	0,79
7,0	532,0	0,48	7,0	0,79
8,0	815,0	0,49	8,0	0,78
9,0	1.180,0	0,50	9,0	0,78
10,0	1.612,0	0,50	10,0	0,78
11,0	1.890,0	0,44	11,0	0,78
12,0	2.000,0	0,36	12,0	0,49
13,0	2.050,0	0,29	13,0	0,36
14,0	2.050,0	0,23	14,0	0,28
15,0	2.050,0	0,19	15,0	0,23
16,0	2.050,0	0,15	16,0	0,19
17,0	2.050,0	0,13	17,0	0,15
18,0	2.050,0	0,11	18,0	0,13
19,0	2.050,0	0,09	19,0	0,11
20,0	2.050,0	0,08	20,0	0,10
21,0	2.050,0	0,07	21,0	0,08
22,0	2.050,0	0,06	22,0	0,07
23,0	2.050,0	0,05	23,0	0,07
24,0	2.050,0	0,05	24,0	0,06
25,0	2.050,0	0,04	25,0	0,05

Leistung, Effizienz und Energie vs. Windgeschw.

Daten in der Berechnung verwendet, Luftdichte: 1,141 kg/m³ Neue WindPRO-Methode (Modifizierte IEC-Methode mit besserer Anpassung an WEA-Steuerung) <EMPFOHLEN>

Windgeschw. [m/s]	Leistung [kW]	Ce	Intervall [m/s]	Energie [MWh]	Akkum. Energie [MWh]	Relativ [%]
1,0	0,0	0,00	0,50- 1,50	0,4	0,4	0,0
2,0	2,9	0,12	1,50- 2,50	5,3	5,7	0,1
3,0	23,4	0,29	2,50- 3,50	26,9	32,7	0,6
4,0	76,5	0,40	3,50- 4,50	77,7	110,3	2,0
5,0	162,8	0,43	4,50- 5,50	160,2	270,6	4,8
6,0	299,6	0,46	5,50- 6,50	270,6	541,2	9,6
7,0	496,1	0,48	6,50- 7,50	397,2	938,3	16,7
8,0	759,5	0,49	7,50- 8,50	520,9	1.459,2	25,9
9,0	1.093,7	0,50	8,50- 9,50	621,9	2.081,1	36,9
10,0	1.482,5	0,49	9,50-10,50	676,0	2.757,1	48,9
11,0	1.782,4	0,44	10,50-11,50	662,4	3.409,5	60,5
12,0	1.946,8	0,37	11,50-12,50	558,5	3.968,0	70,4
13,0	2.022,0	0,31	12,50-13,50	444,1	4.412,1	78,3
14,0	2.050,0	0,25	13,50-14,50	339,9	4.752,1	84,3
15,0	2.050,0	0,20	14,50-15,50	253,7	5.005,7	88,8
16,0	2.050,0	0,17	15,50-16,50	187,0	5.192,7	92,2
17,0	2.050,0	0,14	16,50-17,50	136,4	5.329,1	94,6
18,0	2.050,0	0,12	17,50-18,50	98,4	5.427,5	96,3
19,0	2.050,0	0,10	18,50-19,50	70,1	5.497,5	97,6
20,0	2.050,0	0,09	19,50-20,50	49,3	5.546,8	98,4
21,0	2.050,0	0,07	20,50-21,50	34,2	5.581,0	99,0
22,0	2.050,0	0,06	21,50-22,50	23,3	5.604,3	99,5
23,0	2.050,0	0,06	22,50-23,50	15,7	5.620,1	99,7
24,0	2.050,0	0,05	23,50-24,50	10,4	5.630,5	99,9
25,0	2.050,0	0,04	24,50-25,50	4,1	5.634,6	100,0





IEC classification climatology name: Schlierbach_Mes_65

name	Vref (m/s)	Vave (m/s)	Iref (-)	s Iref (-)	I_{15} (-)
WEA_Ki_1	Inf	4.90	0.164	0.032	0.197
WEA_Ki_2	Inf	5.03	0.133	0.027	0.161
WEA_Ku_3	Inf	5.56	0.096	0.026	0.122
WEA_Ku_4	Inf	5.17	0.122	0.022	0.144

Turbulenzparameter berechnet mit den gemessenen Daten der Messung Schlierbach auf 65 m über Grund für die vier WEA Standorte mit 85 m Nabenhöhe

IEC classification climatology name: Schlierbach_Messung

name	Vref (m/s)	Vave (m/s)	Iref (-)	s Iref (-)	I_{15} (-)
WEA_Ki_1	Inf	5.17	0.145	0.026	0.171
WEA_Ki_2	Inf	5.22	0.127	0.033	0.160
WEA_Ku_3	Inf	5.67	0.091	0.025	0.116
WEA_Ku_4	Inf	5.37	0.111	0.021	0.132

Turbulenzparameter berechnet mit den gemessenen Daten der Messung Schlierbach auf 65 m über Grund für die vier WEA Standorte mit 98 m Nabenhöhe

IEC classification climatology name: Schlierbach_Messung

name	Vref (m/s)	Vave (m/s)	Iref (-)	s Iref (-)	I_{15} (-)
WEA_Ki_1	Inf	5.32	0.135	0.027	0.163
WEA_Ki_2	Inf	5.37	0.122	0.029	0.151
WEA_Ku_3	Inf	5.74	0.089	0.023	0.113
WEA_Ku_4	Inf	5.52	0.101	0.020	0.121

Turbulenzparameter berechnet mit den gemessenen Daten der Messung Schlierbach auf 65 m über Grund für die vier WEA Standorte mit 108 m Nabenhöhe