

Kleinauftrag

Projekt-Nr. : 32'909
Vertrags-Nr. : 63'301
Konto : 31K2.0

Leichtwindanlage AVENTA AV-7

Begleitung der Windmessungen zur Ermittlung der Leistungskurve

Mehmet Hanagasioglu
Interwind Ltd.
Buchzelgweg 5
8053 Zürich

Im Auftrag des
Bundesamt für Energie

September 2002

Schlussbericht

Inhaltsverzeichnis

1. ZUSAMMENFASSUNG	2
2. AUSGANGSLAGE.....	3
3. DATENGRUNDLAGE ZUR ERMITTLUNG DER LEISTUNGSKURVE.....	3
4. KRITERIEN ZUR AUSWAHL DER WINDDATENSÄTZE.....	4
5. ERMITTLUNG DER LEISTUNGSKURVE, PRÄSENTATION DER RESULTATE	7
6. SCHLUSSBEMERKUNGEN.....	8
ANHANG I – GRAPHISCHE PRÄSENTATION DER LEISTUNGSKURVE (BEISPIELE).....	9
ANHANG II – BESPRECHUNGSPROTOKOLLE, ZWISCHENBERICHTE	10
Protokoll der Besprechung des Projektes AV-7 mit Aventa vom 23. 09. 99	
Protokoll der Besprechung des Projektes AV-7 mit Aventa vom 5.7. 00 vor Ort	
Protokoll der Besprechung des Projektes AV-7 mit Aventa vom 7. 3. 01 vor Ort	
Verifizierung der Messdatenerfassung/ Besichtigung AV-7, 10.07.01	

Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Tab. 1 : Zusammenfassung der brauchbaren Datensätze	3
Tab. 2 : Filter für die Auswahl der Daten zur Ermittlung der Leistungskurve	7
Abb. 1 : Vergleich der Werte des Thies-Opto und AV-7 Anemometer im Sektor 220 – 260°	4
Abb. 2 : Vergleich der Messwerte von beiden Anemometern des Messmastes	5
Abb. 3 : Einfluss der Vereisung auf die Messwerte für eine Periode von 2 Tagen	5
Abb. 4 : Einfluss der Vereisung auf die Messwerte: Detailuntersuchung.....	6

1. Zusammenfassung

Interwind AG begleitete die Standortabklärung und Messung der Leichtwindanlage AV-7 zwischen Juni 1999 und August 2002. Weil der ursprünglich vorgesehene Standort aufgegeben und ein neuer Standort gesucht werden musste, verlängerte sich die Projektdauer um ein Jahr. Unsere Empfehlungen zur Anordnung der Messanlage und Positionierung des Messmastes in Bezug auf die Windturbine sind im Anhang II dokumentiert. Die Beachtung dieser Grundsätze erbrachte brauchbare Daten.

Der vorliegende Bericht enthält Empfehlungen zur Auswahl geeigneter Datensätze für die Ermittlung der Leistungskurve und Präsentation der Resultate. Seine Berücksichtigung wird die Aussagekraft des Schlussberichtes zur AV-7 erhöhen und die Prüfungsstandards der Norm IEC 61400-12, *'Wind turbine generator systems - part 12: wind turbine power performance testing, 1998-02'*, weitgehend einbeziehen.

Insbesondere sind bei der Auswahl brauchbarer Datensätze zur Ermittlung der Leistungskurve nur Daten zu verwenden, die nachfolgende vier Kriterien erfüllen :

1. Gleichbleibende Messbedingungen
2. 10-Minutenwerte aus einem ausgewählten Sektor mit geringen Turbulenzen
3. Messdaten von kalibrierten Messgeräten
4. Messperioden ohne Vereisung

Unsere Auswertung kommt zum Schluss:

- Aventa ist es technisch gelungen eine Leichtwindanlage zu bauen. Die Anlage AV-7 zeichnet sich aus durch eine niedrige Einschaltwindgeschwindigkeit von 2 m/s, das Erreichen der vollen Leistung von 6.3 kW schon bei 7.5 m/s und hohe Leistungsbeiwerte im Bereich 2 – 5 m/s.
- Die Anlage arbeitet nach unserer Einschätzung vor Ort sehr leise.
- Die hohe Verfügbarkeit von beinahe 100% während der letzten Monaten der Messperiode deutet daraufhin, dass die Anlage mindestens elektrisch weitgehend ausgereift ist. Wie weit die Anlage mechanisch den Belastungen standhält, wird sich mit der Zeit herausstellen.
- Es steht fest, dass kleine Anlagen wie die AV-7 mit 6,3 kW Nennleistung keinen nennenswerten Beitrag zur Stromproduktion aus neuen erneuerbaren Energien in der Schweiz leisten können. Hier sind nicht nur die Kosten, sondern auch die Anzahl solcher Anlagen zu betrachten, die nötig sind, gleich viel Strom zu produzieren wie Grossanlagen. Auf dem Mt-Crosin produzierten vier Anlagen - mit 2'460 kW installierter Leistung und 42 m Turmhöhe - im Jahre 2000 insgesamt 2'794'961 kWh Strom. Um die gleiche Strommenge mit AV-7 Windturbinen zu erbringen, müssten auf dem Mt-Crosin 120 - 140 Anlagen installiert sein. Dies unter der Annahme einer mittleren Windgeschwindigkeit von 4 – 4.5 m/s auf 18 m Höhe, der Nabenhöhe der AV-7.

Es wird deshalb empfohlen die Stärken der AV-7 zu betonen und jeglichen Vergleich mit Grossanlagen zu vermeiden. (s. z.B. Schlussbericht, 3.Augangslage, erster Paragraph, letzter Satz). Zuletzt sei erwähnt, dass nur die Optimierung der Produktion und der Produktionskosten, sowie die Erschliessung weiterer Absatzmärkte der AV-7 Anlage zum Erfolg verhelfen werden.

2. Ausgangslage

Interwind AG wurde im Sommer 1999 beauftragt, die Firma Aventa AG bei den Windmessungen zur Ermittlung der Leistungskurve der Leichtwindanlage AV-7 zu begleiten. Vorgesehen war eine Projektbegleitung von 24 Monaten. Infolge Baueinsparungen musste Aventa einen neuen Turbinenstandort finden, so dass sich die vorliegende Projektbegleitung um ein Jahr verlängerte.

Die erste Besprechung fand im September 1999 in Winterthur statt zwecks Studium der Projektunterlagen und Empfehlungen für ein Messkonzept. Das Prüfen der Messinstallationen und ein Besuch des vorgesehenen Standortes der Anlage fand im Juni 2000 statt. Infolge Baueinsparungen musste dieser vorgesehene Standort aufgegeben werden. Im März 2001 wurde ein neuer Standort besichtigt und die Situation der Turbine in Bezug auf die temporäre Messanlage besprochen. Die Überprüfung der Messdatenerfassung erfolgte im Juli 2001; die Messungen der Winddaten bestanden seit Juni 2001. Die Protokolle dieser Besichtigungen und Besprechungen befinden sich im Anhang II. Anfangs September 2002 stellte Aventa Ihren Schlussbericht sowie 1- Minuten Messdaten der Firma Interwind zu Verfügung. Der vorliegende Bericht hat das Verfahren zur Ermittlung der Leistungskurve der AV-7 untersucht und verfasst dazu Empfehlungen. Er umfasst:

- Analyse der Messdaten
- Empfehlungen für die Auswahl der Messdaten, die für die Ermittlung der Leistungskurve beigezogen werden sollten
- Besprechung der Resultate

3. Datengrundlage zur Ermittlung der Leistungskurve

Es liegen Messdaten seit dem 24. Juni 2001 vor. Als Grundlage zur Ermittlung der Leistungskurve sind sie in ihrer Vollständigkeit ungeeignet, da während der Messperiode die Leistung der Leichtwindanlage zweimal erhöht wurde. Ausserdem gab es diverse Störungen, die Ende 2001 behoben werden konnten. Die Leistung der Turbine wurde zuletzt zwischen dem 3.12.01 und 17.12.01 erhöht. Seither sind keine Änderungen aufgetreten, weder bei der Turbine noch bei der Messanlage. Deshalb wird empfohlen, für die Messung der Leistungskurve nur die Daten ab dem 17.12.01 zu verwenden. Die brauchbare Messperiode beschränkt sich auf Daten vom 17.12.01 - 23.04.02 gemäss Zusammenstellung in Tabelle 1.

Datensatz	Start	End	Total Minuten	# Minutenwerte								Anzahl 10 Minuten- werte	Bemerkung
				Betriebs- zustand 1 oder 11	Betriebs- zustand 0 oder 10	Bereit- schaft %	davon im Sektor 220 -260°C	VU >= 15 m/s	davon T => 4°C	davon VU/VO zwischen 0.78 - 1.0			
14	17.12.01	07.01.02	29'985	5'490	24'495	81.7%	10'313	20	2'247	2'247	225	1	
15	07.01.02	28.01.01	30'179	18'630	11'549	38.3%	6'572	4	4'728	4'562	456	2,3	
16	19.02.02	07.03.02	22'783	17	22'766	99.9%	631	33	318	284	28	1,4	
17	07.03.02	27.03.02	28'652	59	28'593	99.8%	9'219	3	9'217	9'044	904	1,5, 6	
18	27.03.02	23.04.02	38'574	14	38'560	100.0%	6'144	0	5'458	5'441	544	1,6	
Total			150'173	24'210	125'963	83.9%	32'879	60	21'968	21'578	2'158		

Tab. 1 : Zusammenfassung der brauchbaren Datensätze für die Ermittlung der Leistungskurve

Bemerkungen zu Tabelle 1

- 1 Es kommen nicht zusammenhängende 10 Minutensequenzen vor, Auswertung nach IEC 61400-12 (4.4)
- 2 Die 4 Messpunkte mit VU > 15 m/s müssen nicht ausgeschlossen werden, da alle anderen Werte "normal"

- 3 Die 165 Messwerte wo $VU/VO \geq 1.0$ kommen zwischen 20 – 24 Januar 2002 vor. Wobei nur bei 27 davon $T = 4.0^{\circ}\text{C}$. Störung eines der Anemometer?
- 4 Die 33 Messpunkte mit $VU > 15 \text{ m/s}$ müssen nicht ausgeschlossen werden, da alle anderen Werte "normal"
- 5 Die 3 Messpunkte mit $VU > 15 \text{ m/s}$ müssen nicht ausgeschlossen werden, da alle anderen Werte "normal"
- 6 Es wäre möglich in diesem Datensatz VU/VO Kriterium nicht anzuwenden, da Vereisungsgefahr sehr klein. Allerdings: Werte die VU/VO Kriterium nicht erfüllen, müssen einzeln geprüft werden.

Allgemeine Bemerkungen zu Datensätzen und Berechnung der 10 Minutenmittelwerte

- A Logger - Uhr nicht konstant
- B Werte des Richtungssensors der AV-7 sind mit 10 zu multiplizieren (vorhandener Maximalwert 35.9)
- C Die 10-Minutenmittelwerte der Luftdichte müssen nach IEC 61400-12 (5.1), Windgeschwindigkeit nach (5.1, Formel 5) gebildet werden
- D Ermittlung der Leistungskurve, sowie Berechnung der Jahresproduktion sollte nach IEC 61400-12 (5.2-5.3 erfolgen)

4. Kriterien zur Auswahl der Winddatensätze

Die Detailanalyse der Daten vom Dezember 01 - April 02, (Datensätze 14 - 18, Tab. 1) brachte folgende Erkenntnisse:

1.) Die Daten aus dem Sektor $220 - 260^{\circ}$ sind geeignet für die Ermittlung der Leistungskurve. Abbildung 1 belegt die gute Korrelation von beheiztem Ultraschall- und kalibriertem nicht beheizten Schalenkreuzanemometer.

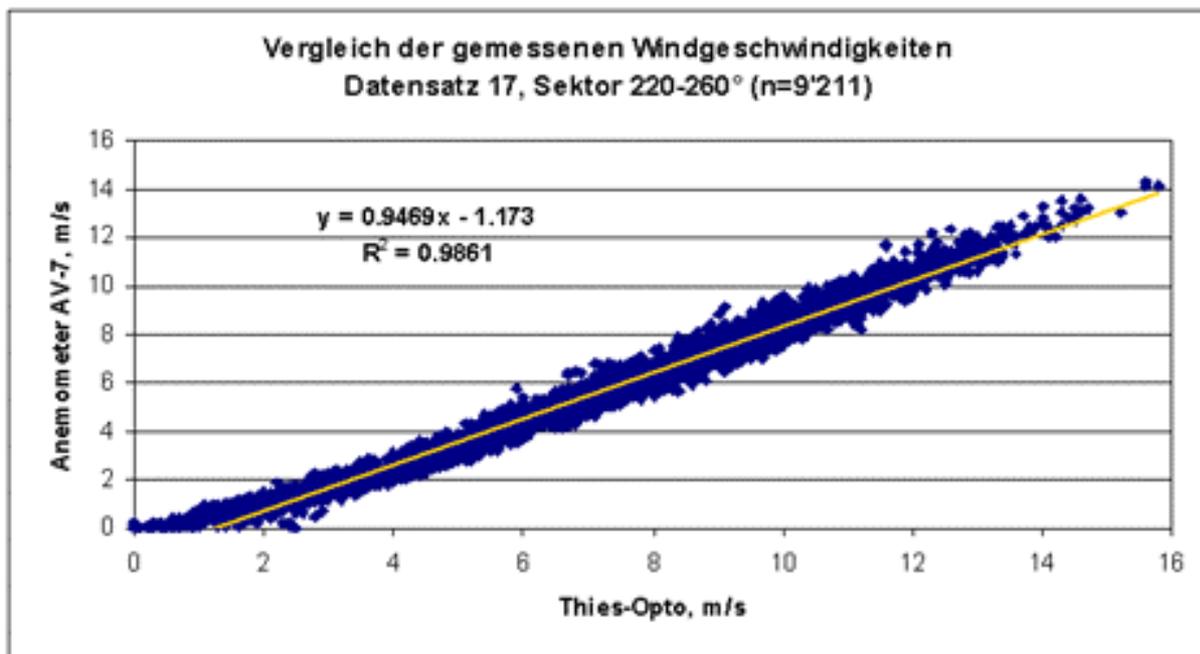


Abb. 1 : Vergleich der Werte des Thies-Opto und AV-7 Anemometer im Sektor $220 - 260^{\circ}$

Abbildung 1 zeigt die gute Übereinstimmung der Werte der AV-7- und Schalenkreuzanemometer im Sektor $220-260^{\circ}$.

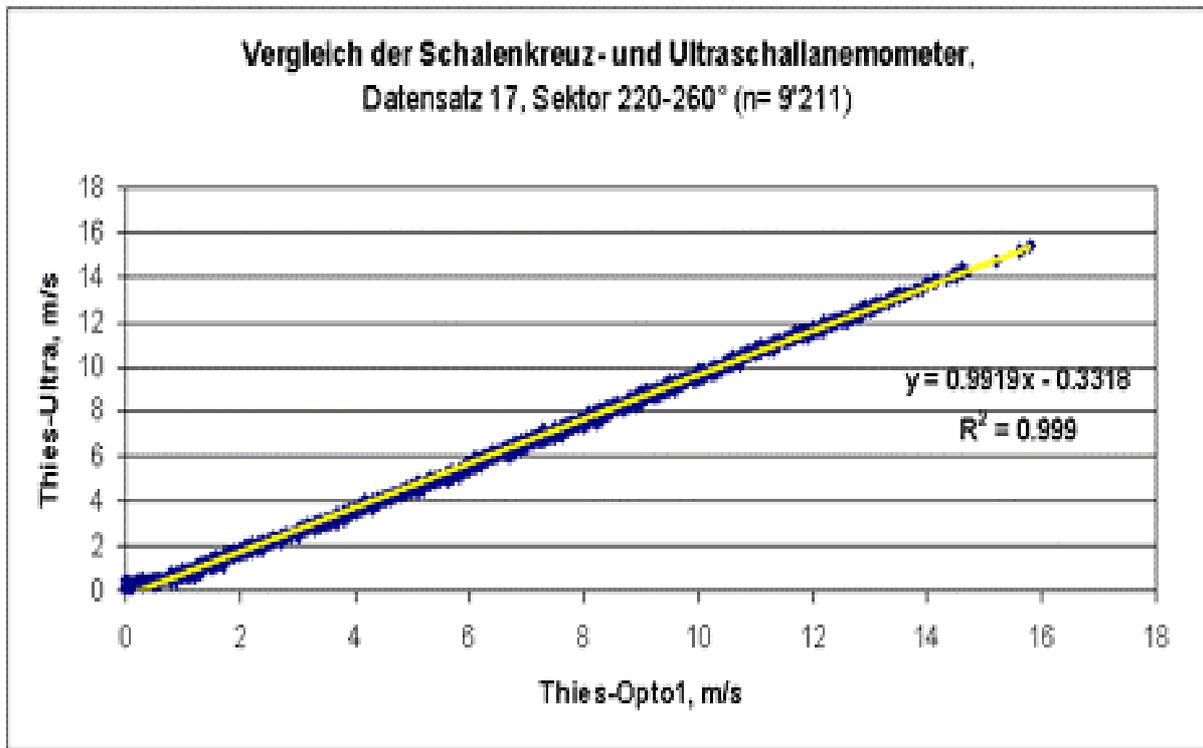


Abb. 2 : Vergleich der Messwerte von beiden Anemometern des Messmastes im Sektor 220 – 260°

2.) Die gute Übereinstimmung zwischen beiden Anemometern auf gleicher Messhöhe (Abb. 2) gestattet es, Perioden mit Vereisung und andere Störungen der Messanlage genau abzugrenzen. Abbildungen 3 und 4 veranschaulichen den Einfluss der Vereisung auf die Messwerte. Solche Werte dürfen nicht zur Ermittlung der Leistungskurve benutzt werden.

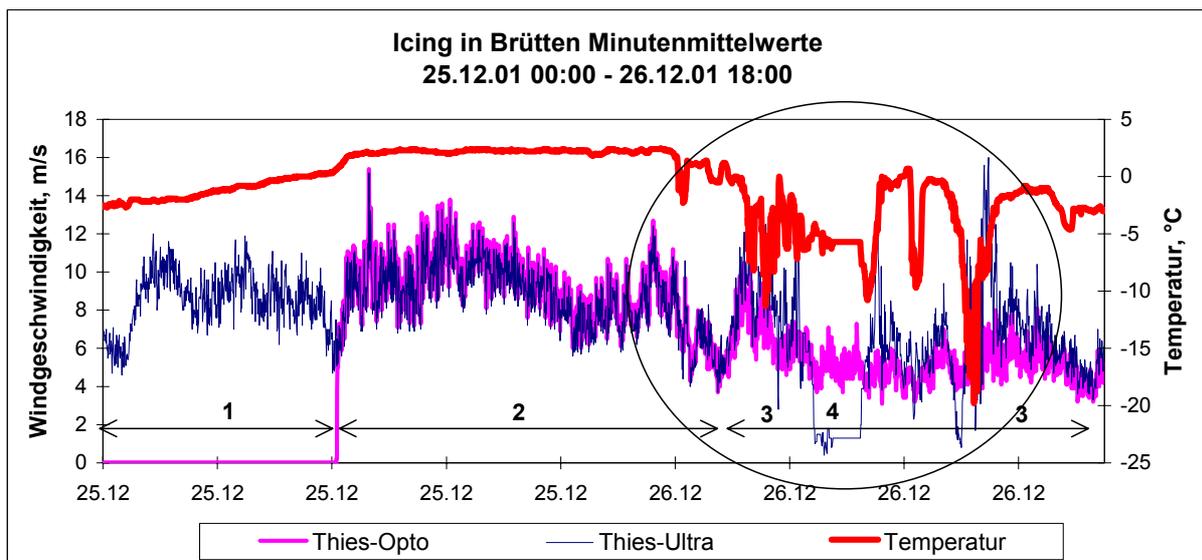


Abb. 3 : Einfluss der Vereisung auf die Messwerte für eine Periode von 2 Tagen
 Für eine Vergrößerung des mit dem Kreis markierten Abschnittes s. Abb. 4
 (1 = Thies-Opto total gefroren, 2 = aufgetaut, 3=verlangsamt, 4= Thies-Ultra gestört)

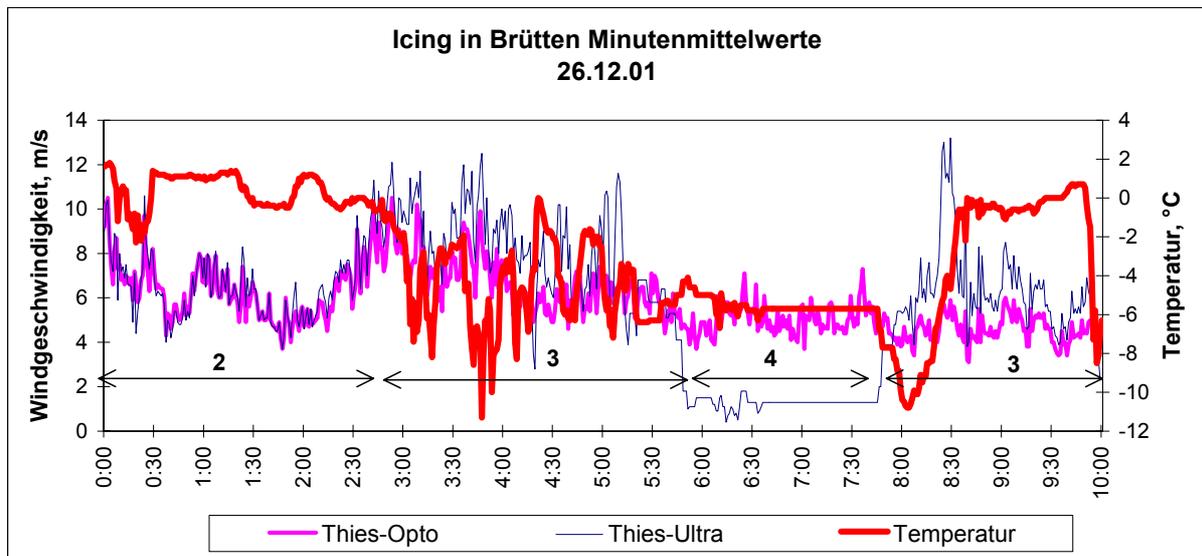


Abb. 4 : Einfluss der Vereisung auf die Messwerte: Detailuntersuchung
(2 = Thies-Opto aufgetaut, 3= verlangsamt, 4= Thies-Ultra gestört)

Am 25.1.2002 von Mitternacht bis ca. 10 Uhr am Morgen ist die Vereisung eindeutig. Mit steigenden Temperaturen zeigt das ungeheizte Schalenkreuzanemometer etwa die gleiche Windgeschwindigkeit wie das beheizte Ultraschallanemometer an. Ab ca. 02:40 beginnt die Temperatur wieder zu fallen. Die Werte des Schalenkreuzanemometers sind um 6 – 7 m/s, eindeutig unter den Werten des Ultraschallanemometers: Eisansammlung auf dem Schalenkreuzanemometer bewirkt eine Verlangsamung unter der Eislast und verfälscht die Messwerte. Am 26.12.01 zwischen 05:40 und ca. 08:00 scheint es eine Störung des Ultraschallanemometer zu geben, möglicherweise auch des Temperatursensors.

Aufgrund dieser Analysen empfiehlt Interwind für die Ermittlung der Leistungskurve nur Daten zu verwenden, die nachfolgende vier Kriterien erfüllen :

1. Gleichbleibende Messbedingungen
IEC 61400-12 (4.6) schreibt für jeden Messbereich von 0.5 m/s ein Minimum von 30 Minuten Daten (also drei 10-Minutenmittel) vor. Damit ist eine Messung der Leistung der AV-7 bis 12 m/s möglich.
2. 10-Minutenwerte aus einem ausgewählten Sektor mit geringen Turbulenzen
Datensätze, während derer die Turbine betriebsbereit ist und der Wind von einem ausgewählten Sektor weht. Ursprünglich wurden zwei Sektoren zur Beobachtung empfohlen; 135 – 170° und 220 – 260°. Geeignet ist der Sektor 220 – 260°, da eine viel grössere Anzahl Werte für diesen Sektor vorliegen und weil die Turbulenzwerte in diesem Sektor gering sind. Die vorliegenden 1-Minutenwerte müssen gemäss IEC 61400-12 (4.4) in 10-Minutenwerte umgewandelt werden.
3. Messdaten von kalibrierten Messgeräten
Es wird empfohlen, für die Messung der Leistungskurve den Thies-Opto zu benützen, da dieses Gerät nach MEASNET-Standards kalibriert und die Ungenauigkeiten bekannt sind.
4. Messperioden ohne Vereisung
Die untersuchte Messperiode umfasst einen aussergewöhnlichen Januar, was sich an Vereisung, bzw. Verlangsamung des ungeheizten Schalenkreuzanemometers bemerkbar

macht (Abb. 2 und 3). Solche Messwerte, sowie Werte mit Störungen, dürfen nicht in die Auswertung mit einbezogen werden. (IEC 61400-12 (4.4)). Der beheizte Ultraschallanemometer kann sehr wohl für die Kontrolle des Schalenkreuzanemometers benützt werden, da diese vor allem in Sektor 220-260° eine sehr gute Korrelation aufweisen (S. auch Abb. 1). Dies ist sehr wahrscheinlich der Grund warum die Messung der Leistungskurve mit dem Ultraschall- oder Schalenkreuzanemometer unterschiedliche Resultate liefern.

Diese als „Filter“ wirkenden Auswahlkriterien sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Kriterium	Bedingung	Begründung
Betriebszustand	0 oder 10	AV-7 Betriebsbereit, ohne Störungsfälle
Sektor (Thies-Opto)	220 – 260°	Verglichen mit 135-170° grössere Datenmengen, weniger Turbulenz (Datensatz 17 : ~12.9 % für 220 -260° versus 15.3 % für 135 - 170°)
Anemometer	Thies-Opto	Kalibriert und die Unsicherheiten bekannt
V-Ultra	<= 15 m/s	Solche Messwerte sind zu überprüfen um Störungen zu vermeiden (siehe 5.1.2002 05:00 – 10:00, Windgeschwindigkeitswerte bis 65 m/s, Temperaturwerte bis 61.7°)
Temperatur	>=4 °C <=25°C	Vereisungsgefahr unter 4° C, Verfälschung der Messwerte, s. Abbildungen 2 und 3, mögliche Störungen über 25° C
V-Ultra / V-Opto	0.78 – 1.00 (3σ)	Messwerte mit Vereisung, bzw. Störungen vermeiden (siehe 26.12.2001 05:00 – 08:00, Abbildungen 3 und 4)

Tab. 2 : Filter für die Auswahl der Daten zur Ermittlung der Leistungskurve

5. Ermittlung der Leistungskurve, Präsentation der Resultate

Für die Ermittlung der Leistungskurve und Präsentation der Resultate wird folgendes empfohlen:

1. Skizze der Messanordnung ähnlich wie Abbildung 1 der Norm IEC-61400-12.
2. Darstellung der Frequenzverteilung der Windgeschwindigkeiten für die ausgewählte Periode, die der Ermittlung der Leistungskurve zu Grunde liegt
3. Ermittlung der Leistungskurve ausschliesslich mit Daten des kalibrierten Schalenkreuzanemometers. Der beheizte Ultraschallanemometer dient der Kontrolle der Messwerte und Abgrenzung vereister Perioden und Störungen.
4. Graphische Darstellung der Leistungskurve mit Standardabweichung der einzelnen Punkte gemäss Muster Anhang I (s. auch Abbildung 3, der Norm IEC 61400-12). Berechnung der Leistungsbeiwerte (C_p) wäre auch wünschenswert.
5. Beschreibung der Geräte, mit denen die Leistung der Turbine erfasst wurde, gemäss Anforderungen der Norm IEC 61400-12.
6. Bei der Präsentation der Resultate ist darauf hinzuweisen, dass die Ermittlung der Leistungskurve nicht zertifiziert wurde. Die ermittelten Werte dienen nur einer internen Erfolgskontrolle der Firma Aventa. Für eine marktübliche Anerkennung der Ergebnisse, müsste eine solche Messung durch eine unabhängige, spezialisierte Firma durchgeführt werden, die auch die Standort Kalibration berücksichtigt.

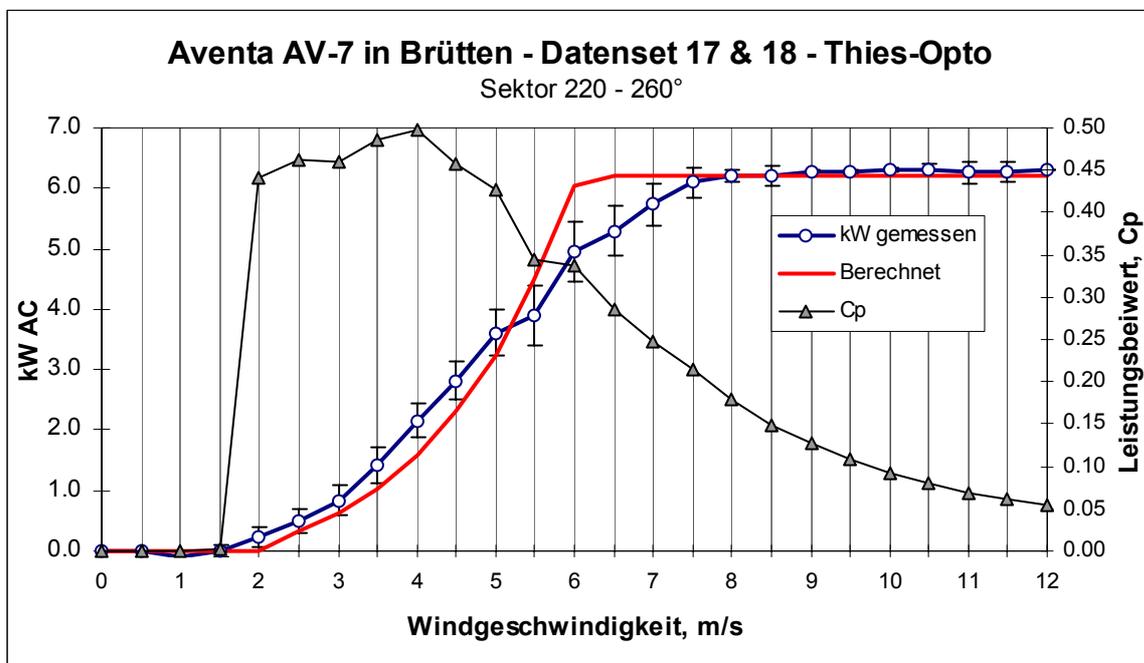
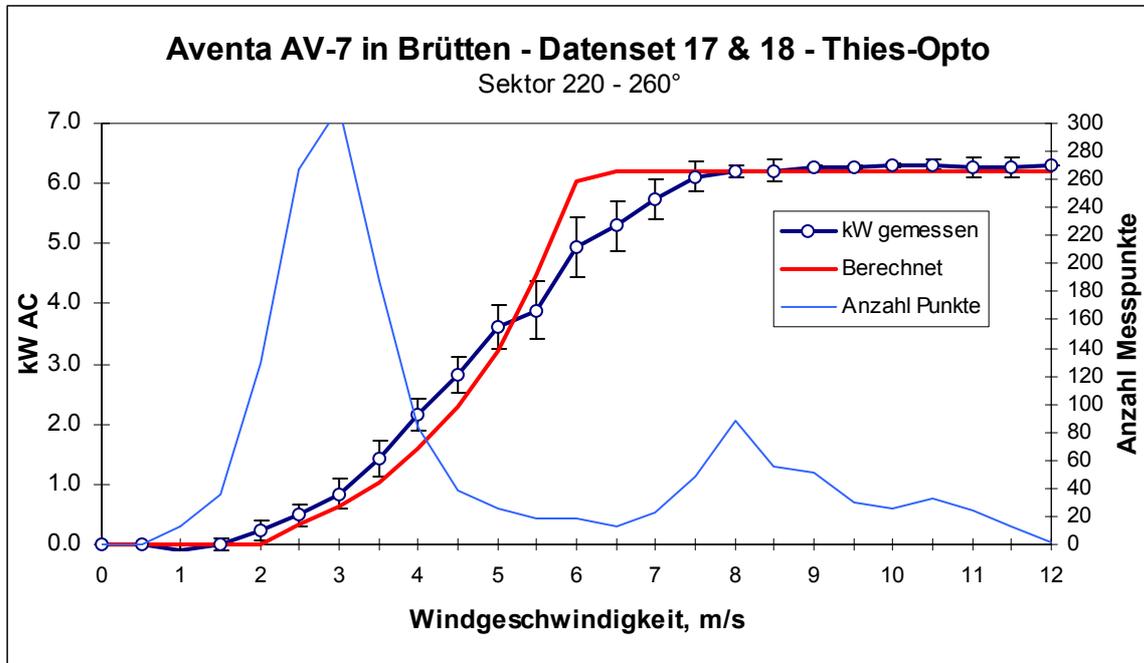
6. Schlussbemerkungen

Das Ziel der Messkampagne zur AV-7 war die Verbesserung und Messung der Leistungskurve. Die Resultate sind erfreulich. Eine erste, grobe Auswertung ergibt, dass es Aventa technisch gelungen ist, eine Leichtwindanlage zu bauen. Die Anlage AV-7 zeichnet sich durch eine niedrige Einschaltwindgeschwindigkeit von 2 m/s, das Erreichen der vollen Leistung von 6.3 kW schon bei 7.5 m/s und hohe Leistungsbeiwerte im Bereich von 2 – 5 m/s aus. Aufgefallen ist ausserdem, dass die Anlage sehr leise arbeitet. Eine hohe Verfügbarkeit von beinahe 100% während der letzten Monaten der Messperiode deutet daraufhin, dass die Anlage mindestens elektrisch weitgehend ausgereift ist. Wie weit die Anlage mechanisch den Belastungen standhält, wird sich mit der Zeit herausstellen.

Zur Stromversorgung der Schweiz mit neuen erneuerbaren Energien können Kleinanlagen wie die AV-7 mit 6,3 kW Nennleistung keinen wesentlichen Beitrag leisten. Die notwendige Anzahl solcher kleinen Windanlagen im Vergleich zu den vier Anlagen auf dem Mt-Crosin verdeutlichen dies: um gleich viel Strom zu produzieren, wie die vier Grossanlagen des Mt. Crosins, die im Jahre 2000 insgesamt 2'794'961 kWh Strom geliefert haben mit 2'460 kW Nennleistung, müssten 120 - 140 AV-7 installiert werden. Dies unter der Annahme einer Windgeschwindigkeit von 4 – 4.5 m/s auf 18 m Nabenhöhe.

Die Entwicklung der AV-7 dokumentiert die Stärken und Schwächen des Standorts Schweiz: die hohe Qualität der Ingenieurkenntnisse gestattet es, schwierigste Aufgaben zu lösen. Der kleine Heimmarkt und die hohen Herstellungskosten, verunmöglichen grosse Serien und erschweren damit die Herstellung eines konkurrenzfähigen Produkts. Falls die AV-7 sich von einem Nischenprodukt zu einem kommerziell erfolgreichen Produkt entwickeln sollte, müssten Produktion und Produktionskosten optimiert werden z.B. durch Integration von möglichst vielen Standardkomponenten und Teilverlagerung der Produktion ins Ausland. Ausserdem müsste der Absatzmarkt auch aufs Ausland ausgedehnt werden, um ein Produkt in Serie in grosser Anzahl herzustellen.

ANHANG I – Graphische Präsentation der Leistungskurve (Beispiele)



Bemerkung : nur Darstellungsbeispiele, keine Auswertung nach IEC 61400-12

Anhang II – Besprechungsprotokolle, Zwischenberichte

Protokoll der Besprechung des Projektes AV-7 mit Aventa vom 23.9. 1999

(Anwesend: Herr Spalinger, Herr Büchi, Herr Hanagasioglu, Herr Kellner; Dauer: 9:00 Uhr bis 11:00 Uhr)

- Vorstellung der Firma Interwind AG
- Vorstellung der Firma Aventa, Gemeinschaft vierer Firmen:
 - Amena (Messtechnik)
 - Planforum
 - GS-engineering AG (Steuerung)
 - Atlantis (Schwerpunkt Konstruktion Flugzeug- und Anlagenbau)
- Vorstellung des Demonstrationsobjekts AV-7:
 - 7.5 kW
 - 12.8 m Rotordurchmesser
 - 18 - 24 m Nabhöhe
 - 3-blättrig
 - Zahnriemengetriebe (Geräuschvorteile)
 - Variable Drehzahl
 - Erzeugt 380 bzw. 400 V 3-Phasen-Wechselstrom
 - Blitzschutz vorgesehen, Herr Spalinger möchte Unterlagen zu Lightning-Arrester: Die Umgebungsluft wird durch ein kleines radioaktives Element ionisiert und dadurch ständig entladen.
- Vorstellung des Messkonzeptes von Aventa:
 - Windgeschwindigkeit mit und ohne Heizung auf Nabhöhe: Ultraschall bzw. Halbschale
 - Windrichtung auf Nabhöhe: Ultraschall beheizt
 - Lufttemperatur auf Nabhöhe: Pt 100
 - Luftdruck auf Bodenhöhe
 - NetZRückspeiseleistung
 - NetZRückspeiseenergie
 - Drehzahl der Hauptwelle
 - Pitchwinkel
- Besprechung und Überarbeitung des Messkonzeptes:
 - Es ist unerlässlich, zusätzlich zu den Messungen der Windgeschwindigkeit auf Nabhöhe (18 m) auf einer zweiten Höhe zu messen. Es wird empfohlen, auf 12 m zu messen und des Weiteren auf 24 m eine dritte Messung zu machen, so dass man das Höhenprofil über dem Rotor kennt.
 - Aus Redundanzgründen ist es empfehlenswert, eine zweite Windfahne zu installieren, vorzugsweise auf der Höhe des zweiten Anemometers.
 - Messen und Speichern der 10-Minuten-Mittelwerte der Windgeschwindigkeiten, deren Standardabweichung, der Windrichtung und des Wertes der 1-Sekunden-Höchstgeschwindigkeit und dessen Windrichtung für jedes 10-Minuten-Intervall.
 - Messung des Pitchwinkel für die Leistungskurve ohne Bedeutung.
 - Messung der Wellendrehzahl für die Leistungskurve ohne Bedeutung
 - Wenn möglich Besichtigung des Messortes zur Abschätzung der topographischen Einflüsse.

Protokoll der Besprechung des Projektes AV-7 mit Aventa vom 5.7. 00 vor Ort

Am 5. Juli 2000 trafen sich Herr Büchi (Aventa Energie AG), Herr Hanagasioglu und Herr Kellner (beide Interwind AG) am zukünftigen Standort der Testturbine der Firma Aventa Energie AG. Dieser befindet sich auf dem WSW an das Bauerngut Büechli angrenzenden und zu jenem gehörenden Acker. Das Bauerngut liegt neben Breite, das zur Gemeinde Nürensdorf (Kanton ZH) gehört. Der Fuss der Turbine wird auf annähernd 600 Metern über Meer und ca. 15 m von der Hauptverkehrsstrasse, die von Breite nach Winterthur führt, stehen. Der Standort wurde diskutiert in Bezug auf mögliche Störeinflüsse, und es wurden Massnahmen zu Reduktion bzw. Berücksichtigung derselben erörtert:

- Durch die vorgegebenen Besitz- und Bepflanzungsverhältnisse ist die Standortwahl sehr eingeschränkt.
- Der Wind wird für die meiste Zeit aus westlichen Richtungen erwartet. Dies ist insbesondere wichtig, als dass sich ziemlich genau westlich in ca. 150 m Entfernung zum Turbinenstandort eine dichte Baumgruppe von ungefähr 15 m Höhe und etwa 20 m Breite befindet. Auf der gleichen Achse aber auf der anderen Seite des Standorts ist das Bauerngut. Die Baumgruppe wird einen erheblichen Störfaktor für Westwind sein. Der Rückstau vom Bauernhaus bei Westwind mag spürbar sein. Es wird empfohlen, den Messmast ca. 20 m von der Turbine in Richtung westliche Baumgruppe aufzustellen. So ist am besten Gewährleistet, dass die Sensoren am Messmast die gleichen Effekte messen, wie sie die Turbine erfährt.
- Die Strasse ist sehr nahe. Schnell vorbeifahrende, grosse Fahrzeuge werden sehr wahrscheinlich mit den Messwerten nachweisbar sein. In Anbetracht der dadurch verursachten kurzen Impulse werden sich bei entsprechender Häufigkeit kaum Einflüsse auf das 10-Minuten-Mittel ergeben. Es bleibt abzuwarten, wie gut die Regelung der Turbine mit diesen kurzen Stössen umgehen kann.
- Es wird empfohlen, auf der Höhe des unteren Anemometers eine Windfahne anzubringen. Im Falle eines Ausfalls des Ultraschallsensors an der Mastspitze können mit entsprechenden Paralleldaten der beiden Messhöhen mit guter Genauigkeit die Daten an der Mastspitze rekonstruiert werden. Im Hinblick darauf wurden die Produkte des Messmittelherstellers NRG Systems kurz besprochen. Interwind würde eine NRG 200P Windfahne kostenlos zur Verfügung stellen.
- Da im Winter Vereisungen an den Turbinenblättern nicht auszuschliessen sind, bedarf es unbedingt vorbeugender Massnahmen zur Verhinderung von Eiswurf von den Rotorblättern auf die Strasse, die lediglich 10m von der Turbine entfernt ist.
- Allgemeine Technische Anlagenversicherungen (ATA) sowohl für die Turbine als auch für die Messanlage sind angezeigt. Diese Versicherung entspricht etwa der Vollkaskoversicherung bei einem Fahrzeug. Es empfiehlt sich diesbezüglich Angebote von mindestens zwei Versicherungsgesellschaft einzuholen. Dazu benötigen Sie ein vollständiges technisches Dossier mit Kostenangaben. Ihr Versicherungsbroker kann Ihnen dabei ev. behilflich sein.
- Es wurde beschlossen, E-Mail als Hauptkommunikationsmittel einzusetzen, um die Kommunikation zwischen Aventa und Interwind zu verbessern.

Die Firma Interwind wurde über folgende Termine informiert:

- Ende September 2000 Errichtung des Messmastes. Die Firma Interwind empfiehlt die Errichtung ca. einen Monat vorzuverlegen, um ungestörte Daten zur Verfügung zu haben, mit denen man den Einfluss der Turbine auf die Daten des Messmastes abschätzen kann.
- Aventa plant Einrichten und Ans-Netz-Gehen der Turbine für Oktober 2000

Protokoll der Besprechung des Projektes AV-7 mit Aventa vom 7. 3. 01 vor Ort

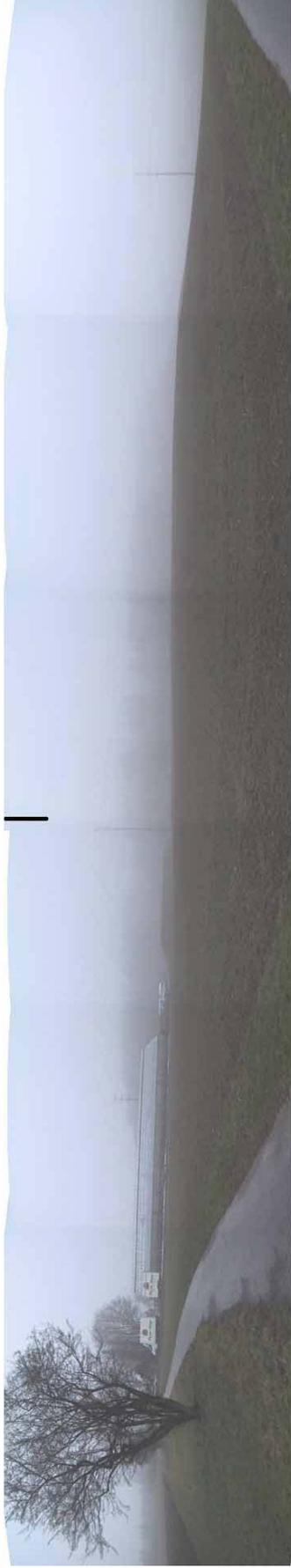
Am 7. März 2001 trafen sich Herr Büchi (Aventa Energie AG), Herr Hanagasioglu und Herr Kellner (beide Interwind AG) am zukünftigen Standort der Testturbine der Firma Aventa Energie AG. Dieser befindet sich an 259'062 Nord und 694'097 Ost bei Brütten (Kanton ZH). Der Fuss der Turbine wird auf ca. 610 Metern über Meer und ca. 2 m von einem asphaltierten Nebensträsschen stehen. Der Messmast wird 17 m von der Turbine entfernt an 259'060 Nord und 394'080 Ost errichtet. Der Standort wurde diskutiert in Bezug auf mögliche Störeinflüsse, und es wurden Massnahmen zur Berücksichtigung derselben erörtert. In Anbetracht der sehr eingeschränkten Standortauswahl kommen wir zu folgenden Schlüssen und Empfehlungen:

- Der Wind wird für die meiste Zeit aus südwestlichen Richtungen erwartet. Der Sektor um Westsüdwest öffnet sich zum Dorf Brütten. In ca. 200 m Entfernung vom Teststandort in Richtung Brütten gibt es eine Baumreihe. Südsüdwestlich liegt ein Bauerngut mit zwei grossen ca. 8 m hohen Gebäuden. In westlicher Richtung säumen ca. 5 m hohe Büsche den asphaltierten Fahrweg. Den übrigen Ausschnitt der Windrose säumt ein Wald in mindestens 100 m Entfernung. Aufgrund dieser Gegebenheiten ist zu erwarten, dass der Wind an diesem Standort turbulenter ist, als beim vorherig vorgesehenen Standort südlich von Brütten. Es wird ausserdem davon ausgegangen, dass das Windaufkommen nicht so gut sein wird, wie es beim vorhergehenden Standort erwartet wurde. Andererseits bietet dieser Standort Bedingungen, die den realen Bedingungen an späteren Standorten eher entsprechen könnten. Das heisst, dass die Leistungskurve unter realitätsnahen Bedingungen aufgenommen werden kann.
- Aufgrund des stark strukturierten Geländes ist eine Auswertung nur von den Messwerten empfohlen, bei denen der Wind aus den folgenden Richtungsabschnitten kommt: 315 ° - 180 °, 225 ° - 270 °.
- Es wird empfohlen, Windgeschwindigkeit und –richtung auf zwei Höhen zu messen, z. B. 12 m und 18 m.
- Da im Winter Vereisungen an den Turbinenblättern nicht auszuschliessen sind, ist eine Allgemeine Technische Anlagenversicherung (ATA) nach SIA sowohl für die Turbine als auch für den Messmast angezeigt. Diese Versicherung übernimmt Haftpflichtfunktionen also auch deckt sie Kosten, die durch Schäden an der Anlage verursacht durch dritte entstehen. Da die Anlagen nicht permanent überwacht werden sollen, wäre die Ermittlung eines Haftpflichtigen unter Umständen nicht möglich.
- Es wird darauf hingewiesen, dass für die Akzeptanz der Turbine im Ausland zu einem späteren Zeitpunkt eine Vermessung der Leistungskennlinie von einer unabhängigen, international anerkannten Stelle (z. B. Germanischer Lloyd) von Nöten sein dürfte.

Aventa plant, die Anlage bis Ende März, Anfang April aufzustellen.

Beilagen: - Photos der Umgebung des Turbinenstandortes und Standortes
- Kartenausschnitt des neuen Standortes

Norden



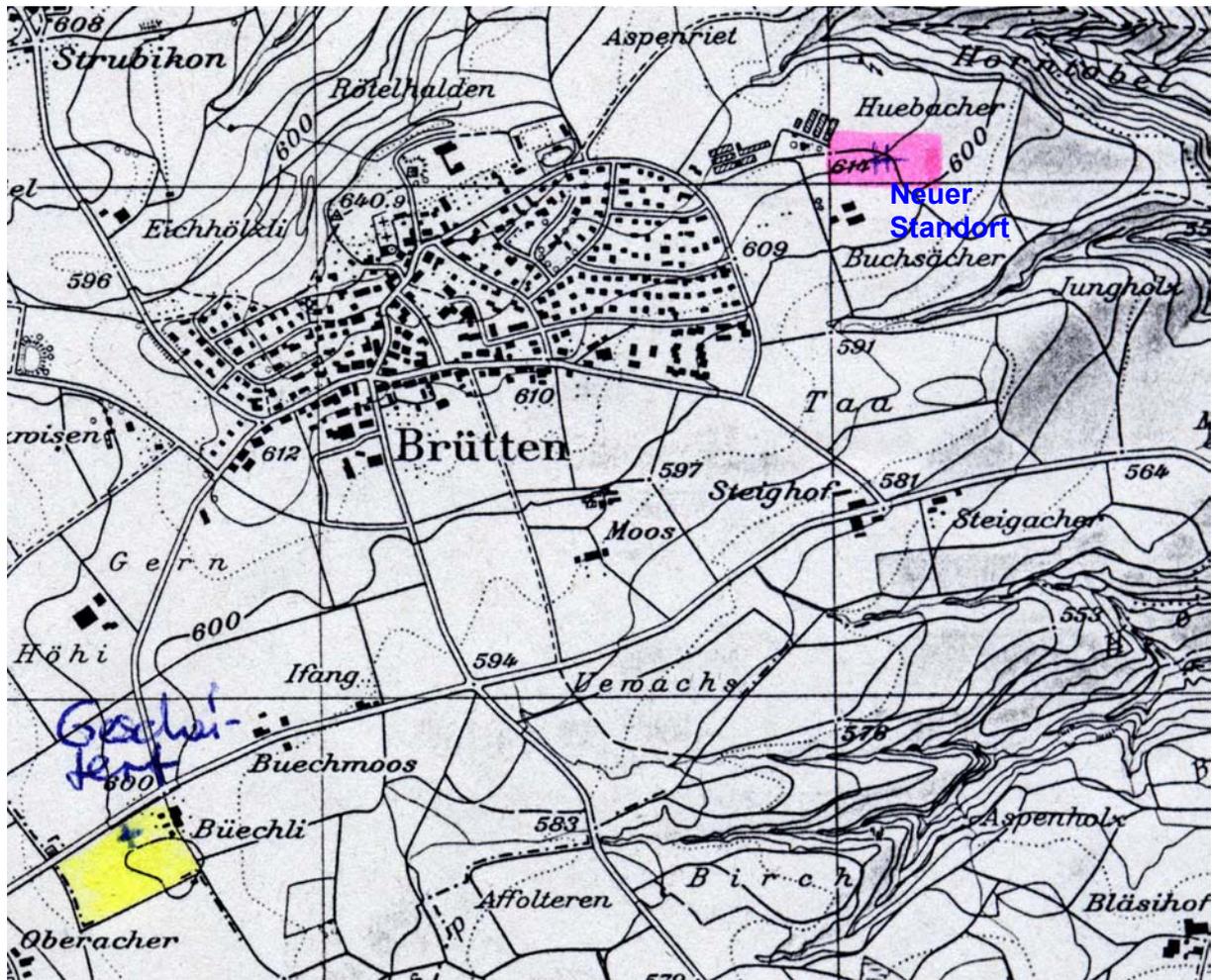
Süden



Interwind AG

Aventa, neuer Standort in Brütten

7.3.2001



Brütten, 1:25'000 Karte mit dem ursprünglichen und neuen Standorte für AV-7

Aventa Windturbine, Brütten: Verifizierung der Messdatenerfassung

Mehmet Hanagasioglu, Interwind AG / Besichtigung AV-7, 10.7.2001

Am 10. Juli 2001 trafen sich Herr Büchi (Aventa Energie AG) und Herr Hanagasioglu am Standort der Testturbine AV-7 der Firma Aventa Energie AG bei Brütten in Kanton Zürich. (Nationalkoordinaten 259'062 Nord und 694'097 Ost, 610 m über Meer). Die 6.5 kW Testturbine mit 13m Rotordurchmesser ist auf einem 18 m Betonmast installiert und seit 5. April 2001 in Betrieb. 17m davon entfernt steht der 18m hohe Messmast, mit folgenden Koordinaten: 259'060 Nord und 394'080 Ost.

Während der Besichtigung wurde folgendes festgestellt:

- Der Standort entspricht den Bedingungen (Topographie, Windverhältnisse), für welche die AV-7 Turbine konzipiert worden ist. (Abb. 1)
- Der Windmessmast, sowie die Messanordnung sind zweckmässig und entsprechen den Empfehlungen von Interwind AG (Abb. 2 und Messanlage gemäss Anhang). Der Mast fällt in seiner Konstruktion und Leichtigkeit auf. Gemäss Herrn Büchi, wiegt der Mast nur 30 kg und kann von einer Person installiert werden. Sensoren auf 18, bzw. 12 m vom Boden erlauben die Erfassung aller wichtigen Parameter für die Standortbewertung und Messung der Leistungskurve.
- Es wurde beobachtet, dass die Turbine bereits bei einer Windgeschwindigkeit von ca. 2 m/s anläuft und ab ca. 2.5 m/s Energie produziert.
- *Folgende Differenz wird zur Zeit von Aventa abgeklärt: die von der Stromuhr des Elektrizitätswerkes gemessene Leistung ist höher als die von Aventa erfassten Messwerte. Gleichzeitig wird die Steuerung weiter optimiert.*
- Aventa führt die Messung der Leistungskurve von August bis Oktober 2001 durch.

Nach dieser Besichtigung empfiehlt Interwind folgendes:

- Aufgrund des komplexen Geländes, sowie der Hauptwindrichtungen und der Messmast westlich der Turbine ergibt sich folgende Empfehlung : für die Messung der Leistungskurve sollten nur die Werte mit Wind von Sektor I bzw. II berücksichtigt werden (Abb. 4) :

Sektor I : 135° - 170°, hat die typischen Eigenschaften der Rauigkeitsklasse 2, mit einer geschätzten Rauigkeitslänge z_0 von 0.15

Sektor II : 220 ° - 260 °, hat bis etwa 300m von der Turbine entfernt die Rauigkeitsklasse 2 mit einer geschätzten Rauigkeitslänge z_0 von 0.15. Danach wechselt die Klasse abrupt nach Rauigkeitsklasse 3 mit einer geschätzten Rauigkeitslänge z_0 von 0.50 oder mehr.

Die Auswahl des massgebenden Sektors erfolgt aufgrund der geringeren Turbulenzintensität. Zu beachten sind in Sektor I auch mögliche erhöhte Turbulenzen bei Südwind, verursacht durch die Turbine.

Beilagen: - Abbildungen 1 – 4

- Messstellen AV-7, Mess- und Speicherstellenlisten

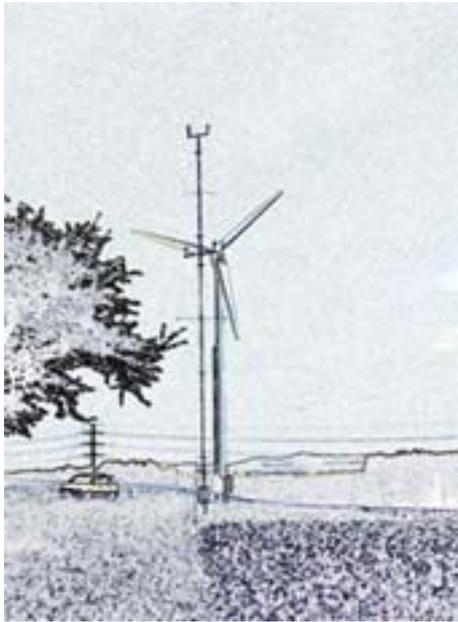


Abb. 1 : AV-7 und Windmessmast bei Brütten, Blick von Westen

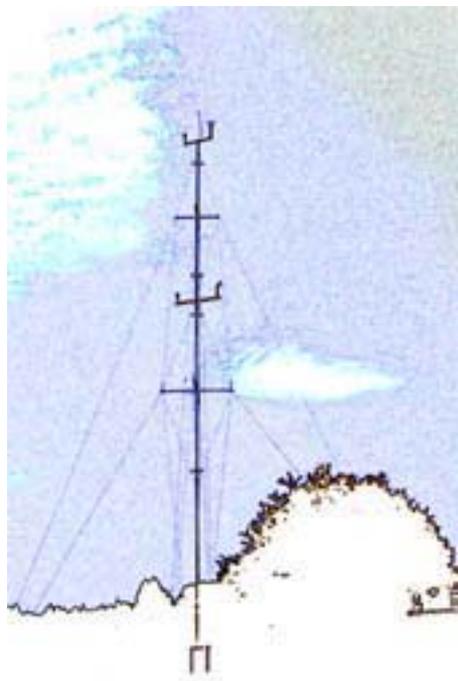


Abb. 2 : Aventa Windmessmast bei Brütten, Konstruktion und Messanordnung (Links: schematisch, Rechts: Photo - Sensoren auf 12 und 18 m über dem Boden. Oben links Ultraschallanemometer, - Windfahne, rechts : Schalenkreuzanemometer . Unten links : Klassische Windfahne, Unten Rechts : Schalenkreuzanemometer)



Abb. 3 : Windmesslogger (links) und Kontrolpanel der AV-7 Turbine bei Brütten

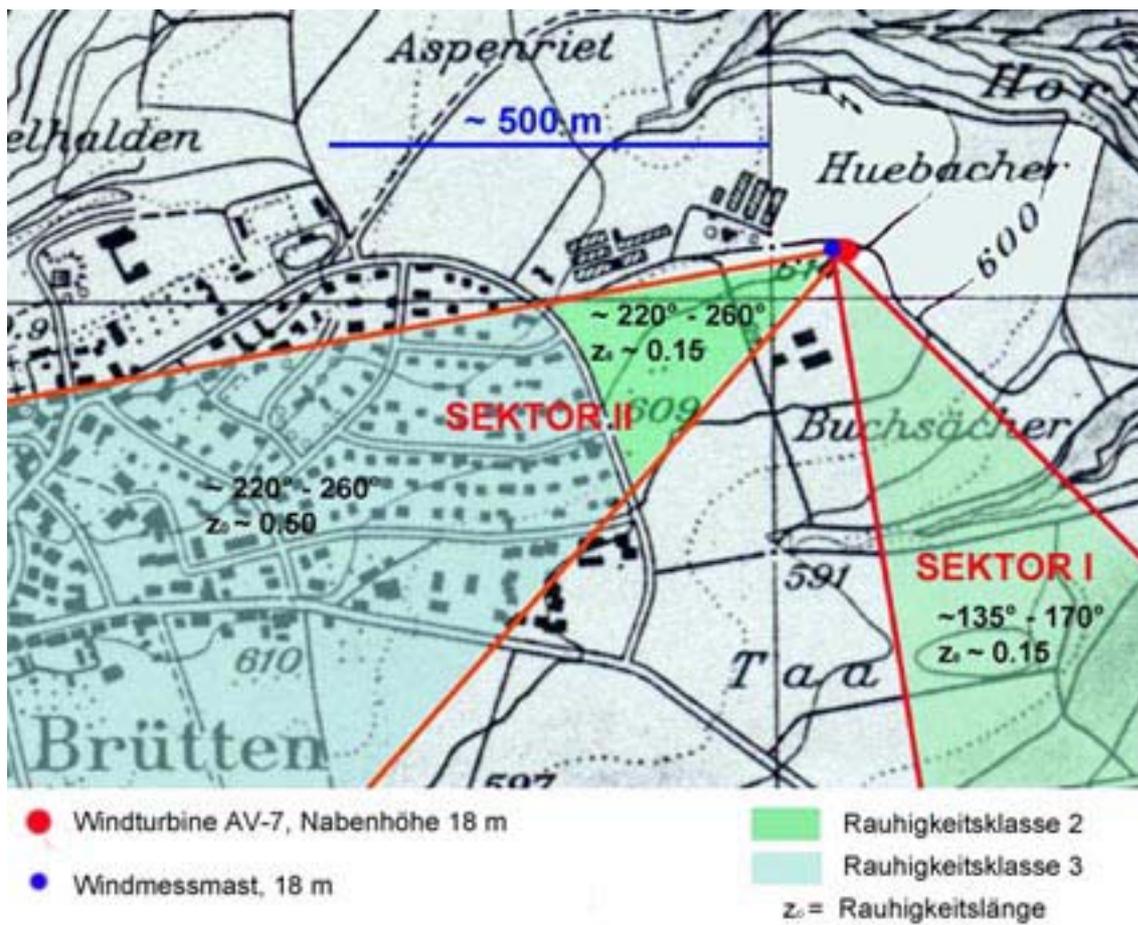
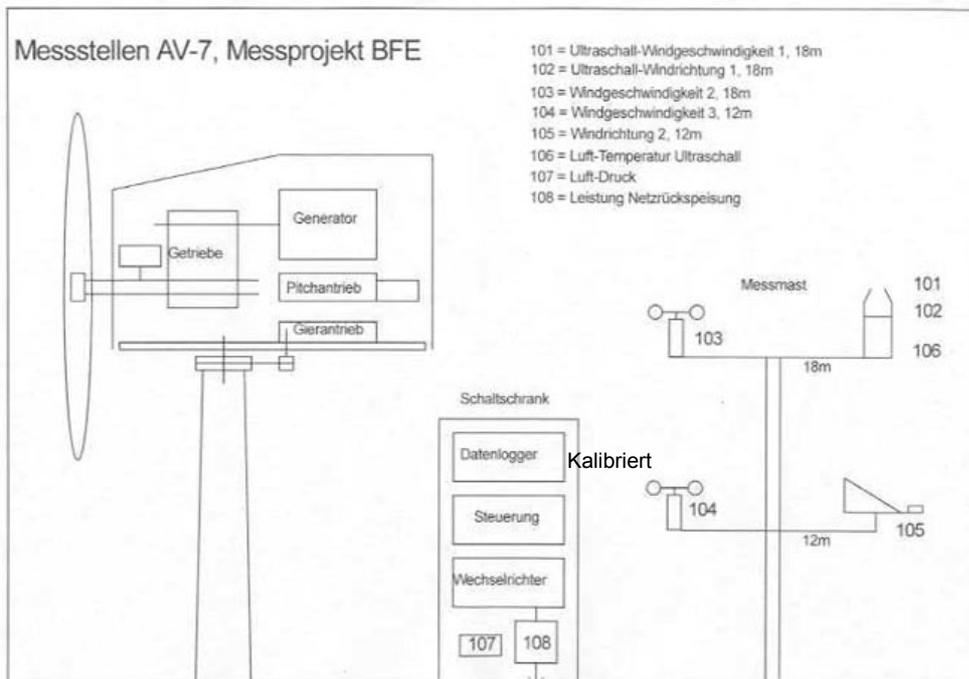


Abb. 4 : Empfohlene Windrichtungssektoren für die Messung der Leistungskurve der AV-7 Turbine bei Brütten

MESS- und SPEICHERSTELLEN



Speicherstellenliste Datenlogger Messprojekt BfE

Erfassung 1-Sek.-Takt
 Speicherung 1-Min.-Mittel (n=60)

Speicherstelle Im Datenpaket	Bezeichnung	Format	Messstelle Nr.
1	Datum der Speicherung	dd.mm.yy	
2	Zeitpunkt der Speicherung	h:m:s	
3	Mittlere Windgeschwindigkeit Thies Opto 1, 18m	$(\sum v)/n$	103
4	Mittl. Abweichung Windgeschwindigkeit Thies Opto 1, 18m	Wurzel($(n\sum v^2 - (\sum v)^2) / n^2$)	103
5	Minimale Windgeschwindigkeit Thies Opto 1, 18m	If < v	103
6	Maximale Windgeschwindigkeit Thies Opto 1, 18m	If > v	103
7	Mittlere Windgeschwindigkeit Thies Opto 2, 12m	$(\sum v)/n$	104
8	Mittlere Windgeschwindigkeit Ultraschall, 18m	$(\sum v)/n$	101
9	Mittlere Windrichtung Ultraschall, 18m	$\text{Arctg}(\sum \sin \alpha / \sum \cos \alpha)$	102
10	Windrichtung Thies Potentiometer, 12m	$\text{Arctg}(\sum \sin \beta / \sum \cos \beta)$	105
11	Luft-Temperatur Ultraschall	$(\sum T)/n$	106
12	Luft-Druck	$(\sum p)/n$	107
13	Leistung Netzurückspeisung	$(\sum P)/n$	108

Messstellenliste Messprojekt BfE

Erfassung 1-Sek.-Takt
 Speicherung 1-Min.-Mittel

Messstelle Nr.	Bezeichnung	Abkürzung	Montageort	Sensor-Fabrikat
101	Windgeschwindigkeit Ultraschall, 18m	VUL	18m	Thiess Ultraschall
102	Windrichtung Ultraschall, 18m	DUL	18m	Thiess Ultraschall
103	Windgeschwindigkeit Thies Opto 1, 18m	VO1	18m	Thiess Opto
104	Windgeschwindigkeit Thies Opto 2, 12m	VO2	12m	Thiess Opto
105	Windrichtung Thies Potentiometer, 12m	DTP	12m	Thiess Windfahne
106	Luft-Temperatur Ultraschall	TAL	12m	Thiess Ultraschall
107	Luft-Druck	PAL	Schrank Datenlogger	Huba Control
108	Leistung Netzurückspeisung	PNR	Schaltschrank AV-07	ELKO