

Wetterprognosen  
Erneuerbare Energien  
Luft und Klima  
Umweltinformatik

Genossenschaft METEOTEST  
Fabrikstrasse 14, CH-3012 Bern  
Tel. +41 (0)31 307 26 26  
Fax +41 (0)31 307 26 10  
office@meteotest.ch, www.meteotest.ch



Bern, 31. Mai 2012

## **Validationsstudie des Lufft Ventus Windsensors**

### **Testmessung und Validation auf dem La Dôle im Schweizer Jura**

---

Auftraggeber:

G. LUFFT  
Mess- und Regeltechnik GmbH  
Klaus Hirzel  
Gutenbergstrasse 20  
70736 Fellbach  
DEUTSCHLAND

Bearbeitung:

Dr. Stefan Müller

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Messgeräte und Messaufbau .....</b>	<b>4</b>
2.1	Messdaten.....	7
<b>3</b>	<b>Datenanalyse.....</b>	<b>8</b>
3.1	Allgemeine meteorologische Situation .....	8
3.2	Datenverfügbarkeit .....	10
3.3	Windmessdaten.....	10
<b>4</b>	<b>Fallstudien.....</b>	<b>15</b>
4.1	Fall 1: 10.1.2012.....	15
4.2	Fall 2: 21.4.2012.....	17
<b>5</b>	<b>Fazit .....</b>	<b>19</b>

Version	Datum	Inhalt	Autor	Kontrolle
1.0	8.5.2012	Validationsstudie des Lufft Ventus Windsensors	SM	RC, 31.5.2012

# 1 Einleitung

Vereisung von Messinstrumenten ist ein allgemeines Problem für meteorologische Messungen. Vereisung führt zu fehlerhaften Messwerten und somit zu Fehlinterpretationen von Messdaten bis hin zum Ausfall von Sensoren.

*METEOTEST* wurde von der Firma G.Lufft GmbH beauftragt, eine Validationsstudie ihres Windsensors *Ventus* unter Vereisungsbedingungen durchzuführen. Im Winter 2011/2012 wurde eine Testmessung auf dem La Dôle, 1'670 m.ü.M im Schweizer Jura durchgeführt. Dieser Standort ist vermutlich einer der am stärksten von Vereisung betroffenen Standorte in der Schweiz.

Auf dem La Dôle steht ebenfalls eine Station des automatischen Messnetzes des Bundesamts für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz. Auf dem La Dôle ist zur Zeit ein beheizter Metek USA-1 Ultraschall Windmesser installiert, welcher gemäss MeteoSchweiz im Moment das Referenzinstrument für Windmessungen unter vereisenden Bedingungen ist. Installation und Betrieb des Ventus wurden von der MeteoSchweiz durchgeführt

In diesem Bericht werden die erhobenen Messdaten analysiert und mit dem Referenzinstrument verglichen. Dabei wird einerseits eine Auswertung der gesamten Messperiode durchgeführt. Zusätzlich werden zwei Fallstudien beschrieben.

## 2 Messgeräte und Messaufbau

Der Standort La Dôle liegt im Schweizer Jura in 1'670 m über Meer (Abbildung 1). Es ist die höchste Erhebung in der näheren Umgebung und deshalb wegen seiner exponierten Lage besonders dem Wind ausgesetzt und dementsprechend anfällig für Vereisung. Auf dem La Dôle befindet sich eine Station des offiziellen meteorologischen Messnetzes der Schweiz SwissMetNet, welche von der MeteoSchweiz betrieben wird. Informationen zur Station sind in Tabelle 1 aufgeführt.

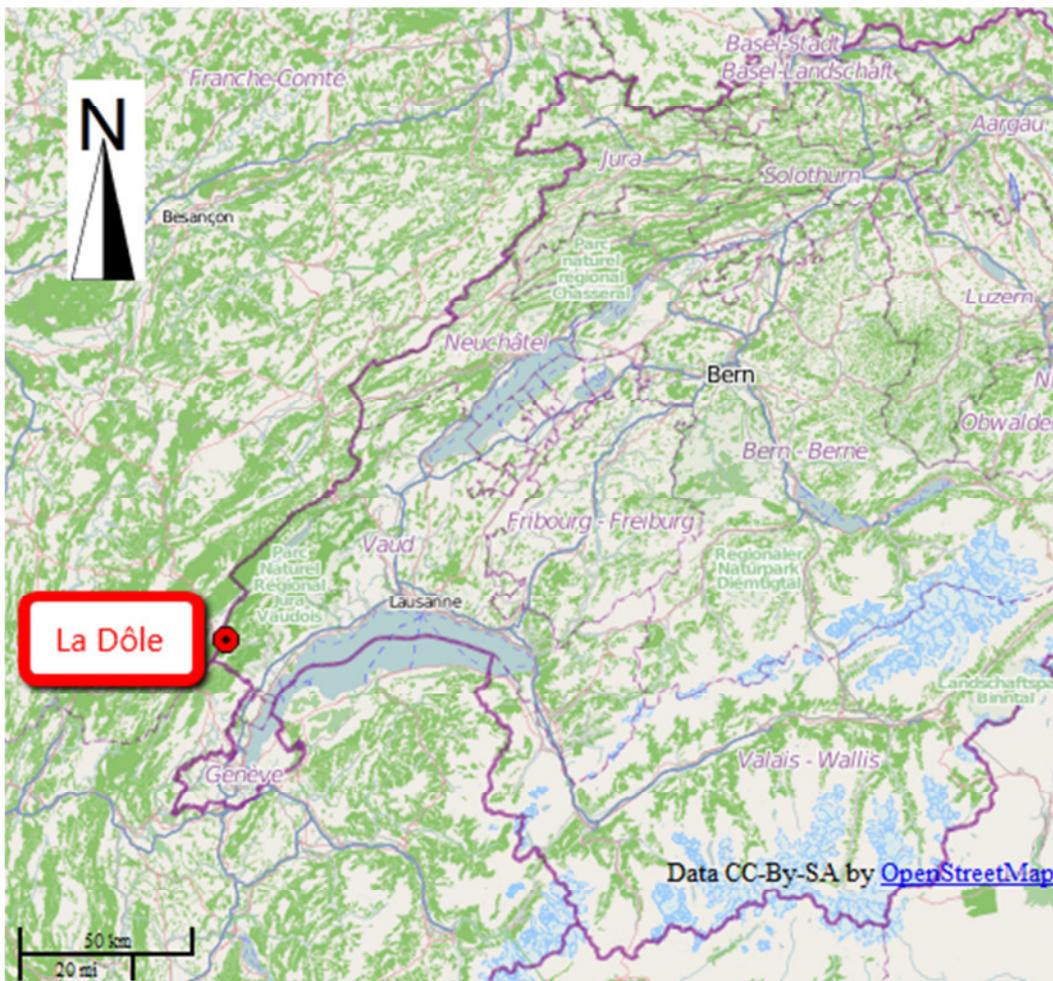


Abbildung 1: Die Station La Dôle ist in der Westschweiz im Jura nördlich von der Stadt Genf gelegen.

Tabelle 1: Informationen zur Station La Dôle gemäss www.meteoschweiz.ch.

Parameter	Beschreibung
WMO Nummer:	06702
Nationale Stationsnummer:	8280
Koordinaten:	46.4247N / 6.099478E
Höhe:	1670 m ü M
In Betrieb seit:	1981
Gemessene Parameter:	Global Strahlung Relative Feuchte Sonnenscheindauer Windgeschwindigkeit Windrichtung Luftdruck Temperatur Niederschlag

Tabelle 2 zeigt die Liste der für den Vergleich eingesetzten Windsensoren. Das Referenzinstrument der Messstation ist auf der Spitze des Messmastes in 10 m Höhe installiert. Der Windmesser Ventus der Firma Lufft wurde ungefähr 1.5 m tiefer an einen seitlichen Ausleger, welcher in Ost-West Richtung am Mast befestigt ist, angebracht. Die exakte Ausrichtung des Auslegers beträgt 92°. Abbildung 2 zeigt eine Photoaufnahme des Messmasts mit Angabe der geographischen Ausrichtung. Der Lufft Ventus Windsensor wurde im November 2011 auf der westlichen Seite des Mastes installiert. Abbildung 3 zeigt die Mastspitze im Detail mit den beiden montierten Sensoren.

Es handelt sich dabei um ein Gerät der ersten Generation. Die neue Version mit einer verstärkten Heizung konnte aus organisatorischen Gründen (Zugang zu Mast wegen Eisansatz nicht möglich, Verfügbarkeit der Techniker von MeteoSchweiz nicht gegeben) erst am 15.3.2012 der östlichen Seite des Mastes angebracht werden.

Installation, Betrieb und Datenerfassung des Ventus wurden von der MeteoSchweiz durchgeführt. Ebenfalls wurden die Messwerte der Referenzsensoren von MeteoSchweiz bereitgestellt.

Tabelle 2: Eingesetzte Windsensoren.

Hersteller Firma	Messgerät
G.Lufft Mess- und Regeltechnik GmbH	VENTUS-Ultrasonic Wind Sensor (Testinstrument)
METEK – Meteorologische Messtechnik GmbH	USA-1 (Referenzinstrument)

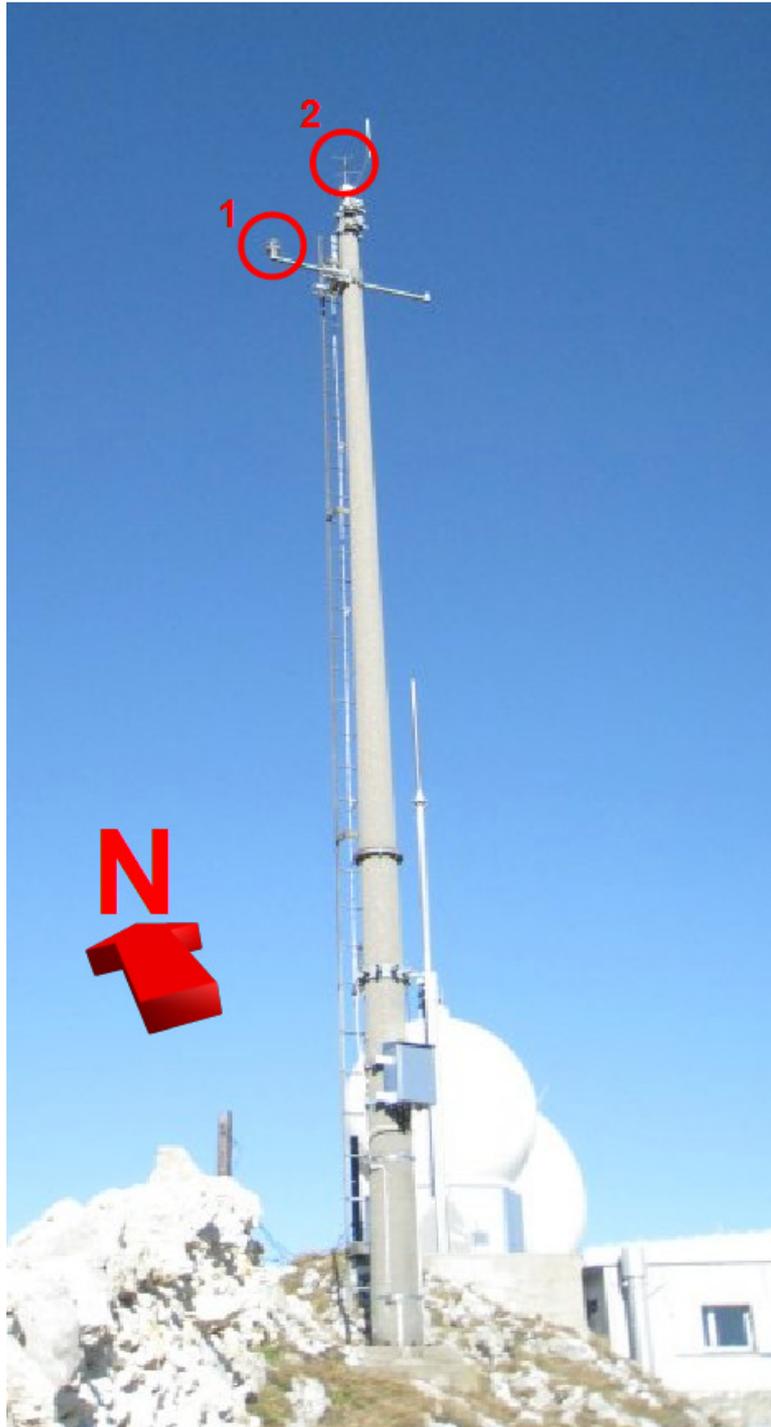


Abbildung 2: Messmast auf dem La Dôle im Schweizer Jura auf 1'670 m ü M. Der rote Pfeil markiert die geographische Ausrichtung, Die beiden Sensoren sind rot umkreist (1: Luft Ventus, 2: METEK USA-1.).

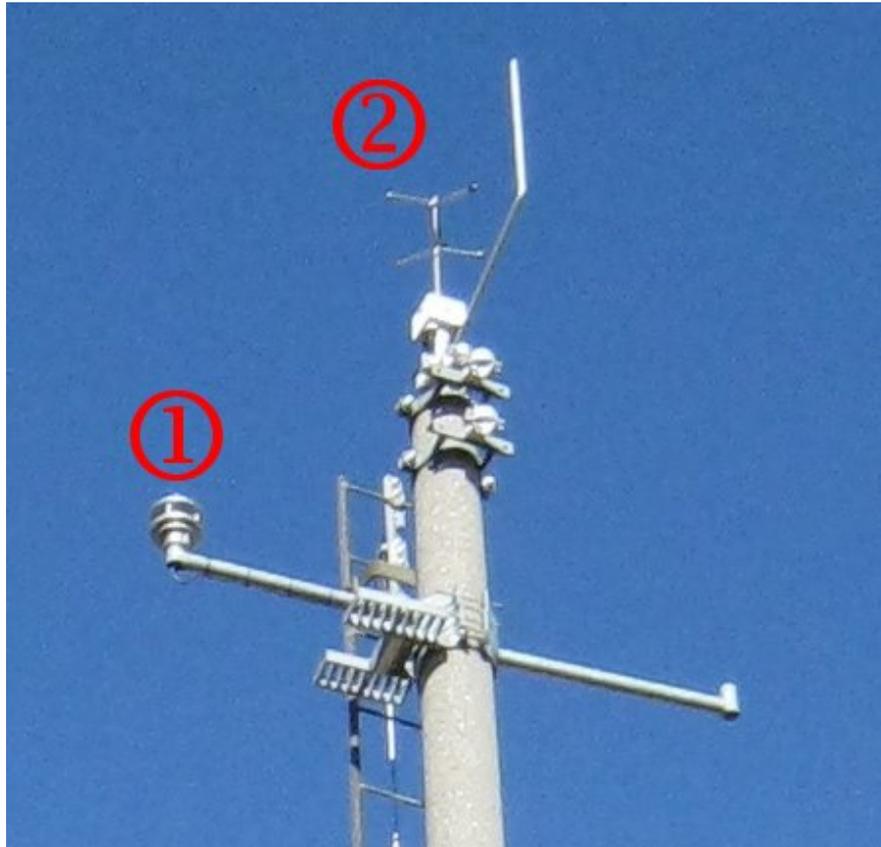


Abbildung 3: Messmastspitze mit den Windsensoren: ① Lufft Ventus, ② METEK USA-1. (Stand: November 2011)

## 2.1 Messdaten

Der Ventus wurde im November 2011 installiert. Die Messdaten stehen ab dem 1.12.2011 zur Verfügung. Die Datensamples werden jede Sekunde erhoben und zu 10 Minuten Werten gemittelt. In den 10-minütigen Datenreports enthalten sind jeweils Minimum, Maximum, Standardabweichung und Anzahl gültiger Samples des jeweiligen 10-Minuten Intervalls. Das Intervallmaximum bei der Windgeschwindigkeit entspricht der Sekundenböenspitze.

## 3 Datenanalyse

### 3.1 Allgemeine meteorologische Situation

Der Dezember 2011 war geprägt durch nasses und windiges Wetter. Winde aus westlicher Richtung verfrachteten feuchte und milde Luftmassen. Am 16. Dezember zog das Sturmtief „Joachim“ über die Schweiz mit Böenspitzen bis 175 km/h. In der Folge fielen in den Bergen grössere Mengen an Neuschnee.

(frei nach: MeteoSchweiz 2011: Klimabulletin Dezember 2011. Zürich.)

Anfang Januar herrschten weiterhin starke Westwinde. Am 5. Januar 2012 erreichte das Sturmtief „Andrea“ mit Windspitzen bis 170 km/h im Jura die Schweiz. Gleichzeitig fielen grössere Mengen an Neuschnee. Ende Januar stellte sich eine Bisen-Strömung ein und die Temperaturen sanken in der ganzen Schweiz deutlich unter den Gefrierpunkt.

(frei nach: MeteoSchweiz 2012: Klimabulletin Januar 2012. Zürich.)

Die erste Hälfte Februar 2012 war geprägt von einer Kältewelle mit Temperaturen im Flachland bis  $-20^{\circ}\text{C}$ , wobei die kleineren Mittellandseen zufroren und Winden aus östlicher Richtung welche kalte Luft aus Russland nach Mitteleuropa brachten. Mitte Februar endete die Kälteperiode und die Temperaturen stiegen wieder über den Gefrierpunkt.

(frei nach: MeteoSchweiz 2012: Klimabulletin Februar 2012. Zürich.)

Nach einem sonnigen und warmen Märzbeginn brachte eine Störung nochmals Schnee bis in tiefe Lagen. Ein ähnliches Ereignis fand um den 18./19.März statt. Ansonsten war der März mild mit Temperaturen über Null Grad bis in hohe Lagen.

(frei nach: MeteoSchweiz 2012: Klimabulletin März 2012. Zürich.)

Nach warmem Beginn im April brachte ein Tiefdruckgebiet kühles und nasses Wetter mit sich. Erst zu Monatsende änderte der Wettercharakter hin zu sonnigem und warmem Wetter.

(frei nach: MeteoSchweiz 2012: Klimabulletin April 2012. Zürich.)

Abbildung 4 zeigt die Messungen von der SwissMetNet Station auf dem La Dôle. Die oben beschriebene allgemeine Wetterlage auf der Alpennordseite der Schweiz zeigt sich auch in den Messungen auf dem La Dôle. Der markante Druckabfall, welcher durch die beiden Sturmtiefs Joachim und Andrea verursacht wurden, ist deutlich erkennbar. Gleichzeitig haben wir auch die stärksten Windgeschwindigkeiten in dieser Zeit. Die Windrichtung war während der niederschlagsreichen Zeit West, während der Kälteperiode mit Temperaturen von  $-20^{\circ}\text{C}$  im Februar drehte sie auf Ost. Der Niederschlag fällt bei Temperaturen unter Null Grad in Form von Schnee, weshalb die Schneehöhe zunimmt. Bei positiven Temperaturen schmilzt die Schneedecke ab.

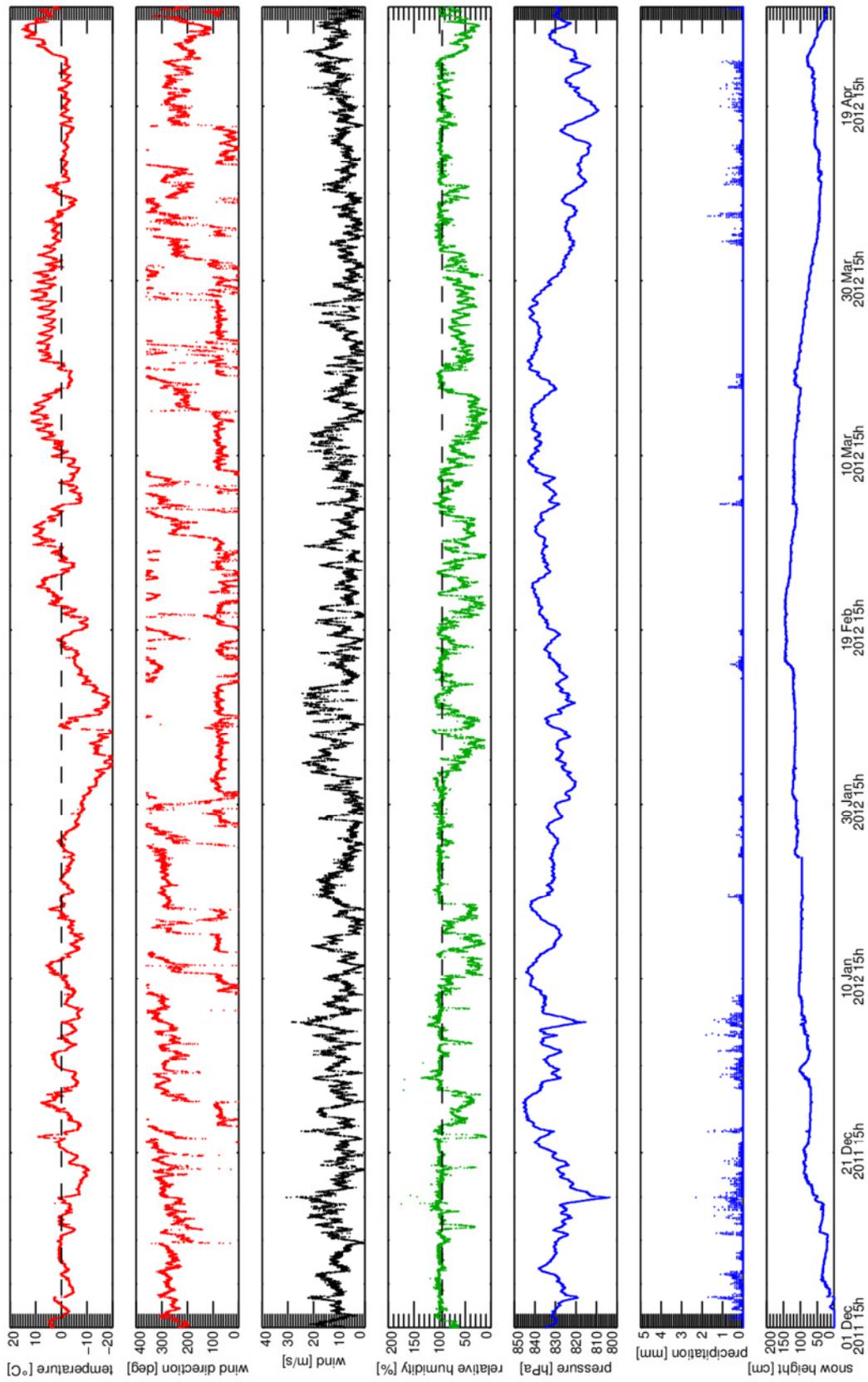


Abbildung 4: Messdaten der Station La Dôle. Verlauf durch den ganzen Winter.

### 3.2 Datenverfügbarkeit

Für die Überprüfung der Datenverfügbarkeit wurde die Anzahl Samples zum Verhältnis der maximal möglichen Samples (1/sec Monat) pro Monat gesetzt. Der Ventus zeigt dabei eine hervorragende Verfügbarkeit während der gesamten Messperiode, was das Datensampling betrifft.

Tabelle 3: Anzahl erhobene Datensamples, 100% entspricht einer vollständigen Datenerfassung bei einer Rate von 1 Sample pro Sekunde. ff bezeichnet die Windgeschwindigkeit, dd bezeichnet die Windrichtung.

Monat	Ventus ff	Referenz ff	Ventus dd	Referenz dd
2011/12	100.0%	99.7%	100.0%	99.7%
2012/01	99.9%	99.8%	99.9%	99.8%
2012/02	99.9%	99.8%	99.9%	99.8%
2012/03	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
2012/04	100.0%	99.7%	100%	99.8%

### 3.3 Windmessdaten

Die in Abbildung 5 dargestellten Messungen der Windgeschwindigkeit zeigen auf den ersten Blick eine recht gute Übereinstimmung der beiden Sensoren. Bei Ostwind zeigte der Ventus jedoch tiefere Windgeschwindigkeiten als der Referenzsensor an. Dieses Bild zeigt sich deutlich im Scatter Plot von Abbildung 6 sowie in der Grafik von Abbildung 7. Bei Wind aus anderer Richtung als Ost (resp. West nach dem Sensorwechsel am 15.3.2012) sind die Windgeschwindigkeiten sehr ähnlich, während bei Ostwind regelmässig massive Abweichungen auftraten. Dies deutet auf einen systematischen Fehler durch Abschattung und nicht auf einen Messfehler hin.

Es ist auch erkennbar, dass der Effekt der Abschattung nicht immer gleich stark ist. Dies ist ein Indiz, dass während einiger Perioden noch andere Faktoren, vermutlich Vereisung auf die Messung Einfluss nahmen.

Ein ähnliches Bild zeigt sich bei der Windrichtung (Abbildung 8). Im Grossen und Ganzen verlaufen die Werte sehr ähnlich. Es kommen aber ein paar Perioden bei Ostwinden vor, wo die Windrichtung deutlich unterschiedlich gemessen wurde.

Die möglicherweise systematischen Abweichungen bei Ostwinden (resp. Westwinde nach dem Sensorwechsel ab dem 15.3.2012), sollen für die folgende statistische

Analyse (Tabelle 4 und Tabelle 5) nicht berücksichtigt werden, um das Resultat nicht zu verfälschen. Dazu wurde ein Sektor von 90° Öffnung nicht berücksichtigt.

Unter Verwendung der so bereinigten Daten liegen die Monatsmittelwerte des Ventus bis zu 0.5 m/s tiefer als beim Referenzsensor. Die mittlere Böenspitze gemessen mit dem Ventus liegt in 3 von 5 Monaten leicht über der Referenz. Die Windmessung des Ventus korreliert mit der Referenz sehr gut. Der Korrelationskoeffizient liegt über 0.95. Die Windrichtung korreliert etwas schlechter. Trotzdem, in 4 von 5 Monaten liegt der Korrelationskoeffizient über 0.80. Nur der Januar fällt mit 0.61 etwas ab.

Tabelle 4: Monatsmittelwerte der Windgeschwindigkeit (ff) und mittlere Böenspitze (fx) ohne systematische Abschattungseffekte.

Monat	ff Ventus [m/s]	Referenz ff [m/s]	Ventus fx [m/s]	Referenz fx [m/s]
2011/12	10.2	10.7	13.9	14.2
2012/01	8.0	8.6	11.0	11.2
2012/02	6.2	6.3	8.8	8.5
2012/03	6.6	7.1	9.7	9.4
2012/04	8.3	8.5	12.6	12.1

Tabelle 5: Korrelationskoeffizienten für Windgeschwindigkeit (ff), Böenspitze (fx) und Windrichtung (dd) ohne systematische Abschattungseffekte.

Monat	Anzahl Samples	Korrelationskoeffizient für ff	Korrelationskoeffizient für fx	Korrelationskoeffizient für dd
2011/12	3941	0.95	0.96	0.91
2012/01	3376	0.97	0.96	0.61
2012/02	1334	0.98	0.95	0.80
2012/03	3000	0.99	0.91	0.88
2012/04	2488	0.99	0.95	0.90

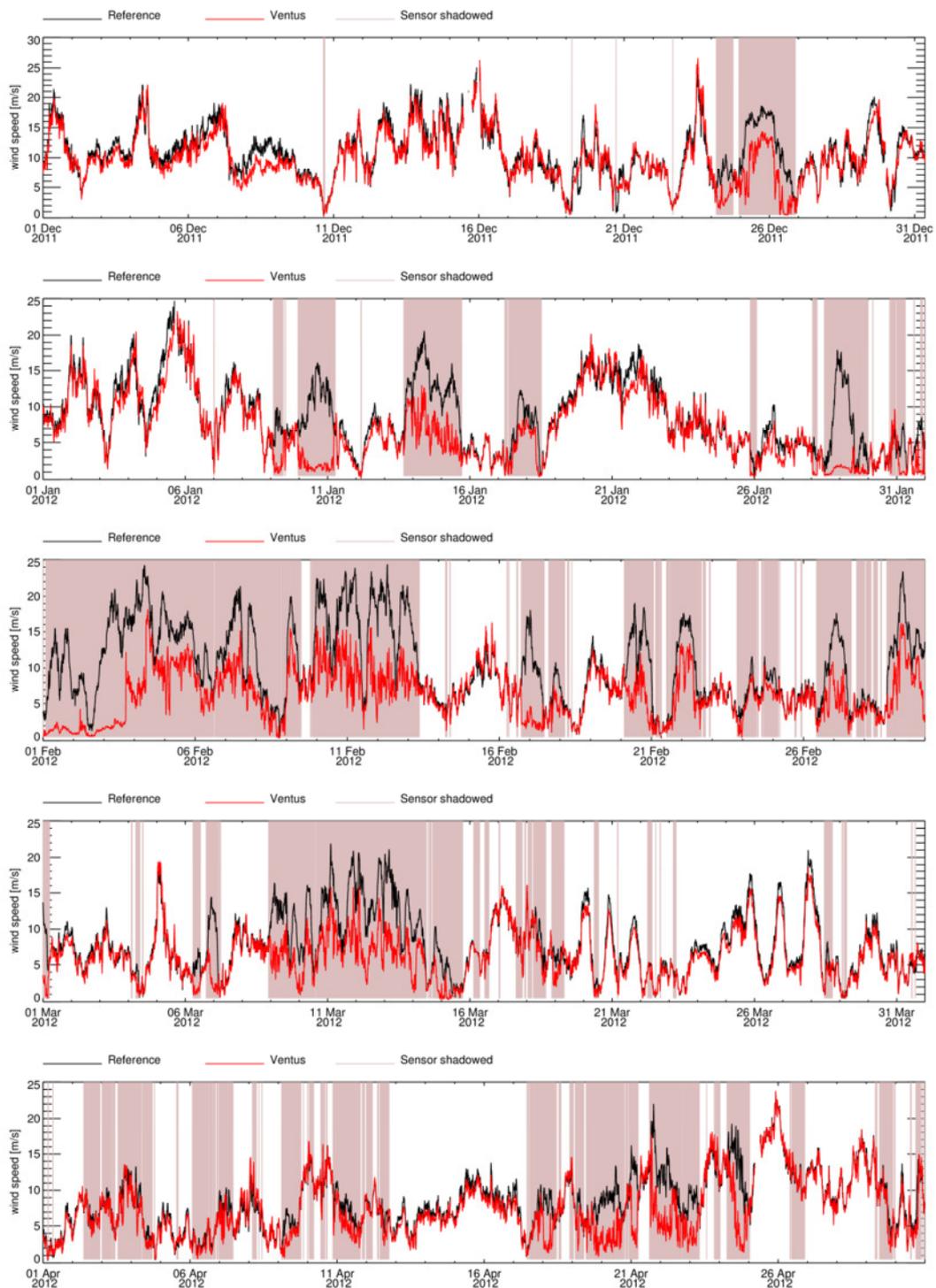


Abbildung 5: Windgeschwindigkeitsmessung des Ventus (rot) und der Referenz (schwarz). Rosaflächig hinterlegt sind die Zeiten mit Abschattung durch den Messmast (bis 15.3.2012 bei Ostwind, danach bei Westwind), während welcher der Ventus in der Regel tiefere Werte als der Referenzsensor anzeigt.

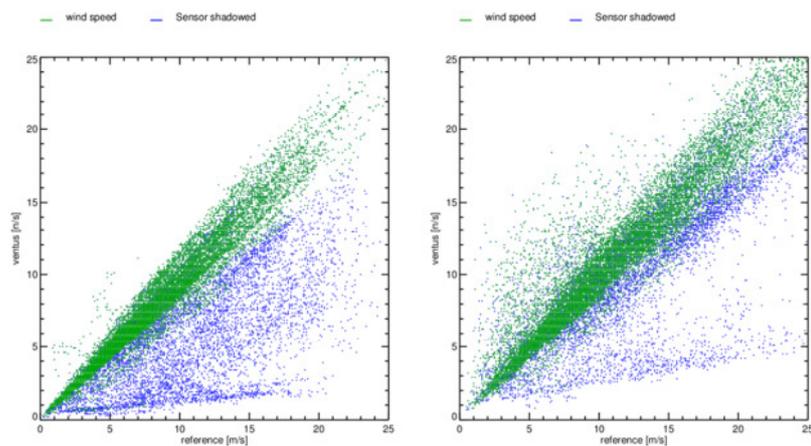


Abbildung 6: Scatterplot der gemessenen Windgeschwindigkeiten (links) und Böenspitzen (rechts) dem Ventus Sensor und der Referenz. In blau sind die Messwerte dargestellt, die bei Abschattung durch den Mast auftraten, in grüner Farbe die restlichen Messwerte.

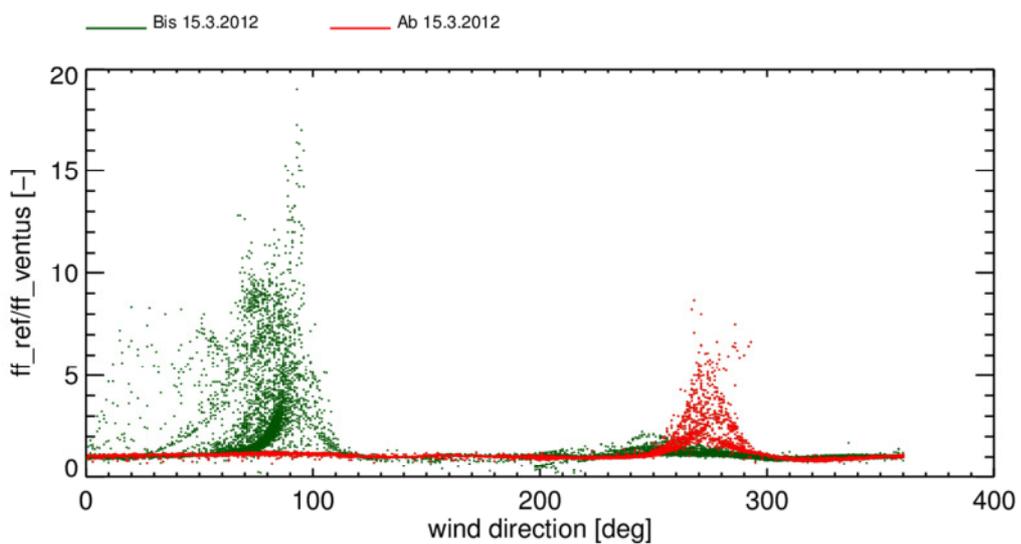


Abbildung 7: Quotient der Windgeschwindigkeit zwischen Referenz und Ventus in Abhängigkeit der Windrichtung. Bei den Winkeln, wo der Sensor im Lee des Messmastes ist, zeigen sich deutlich abweichende Messungen.

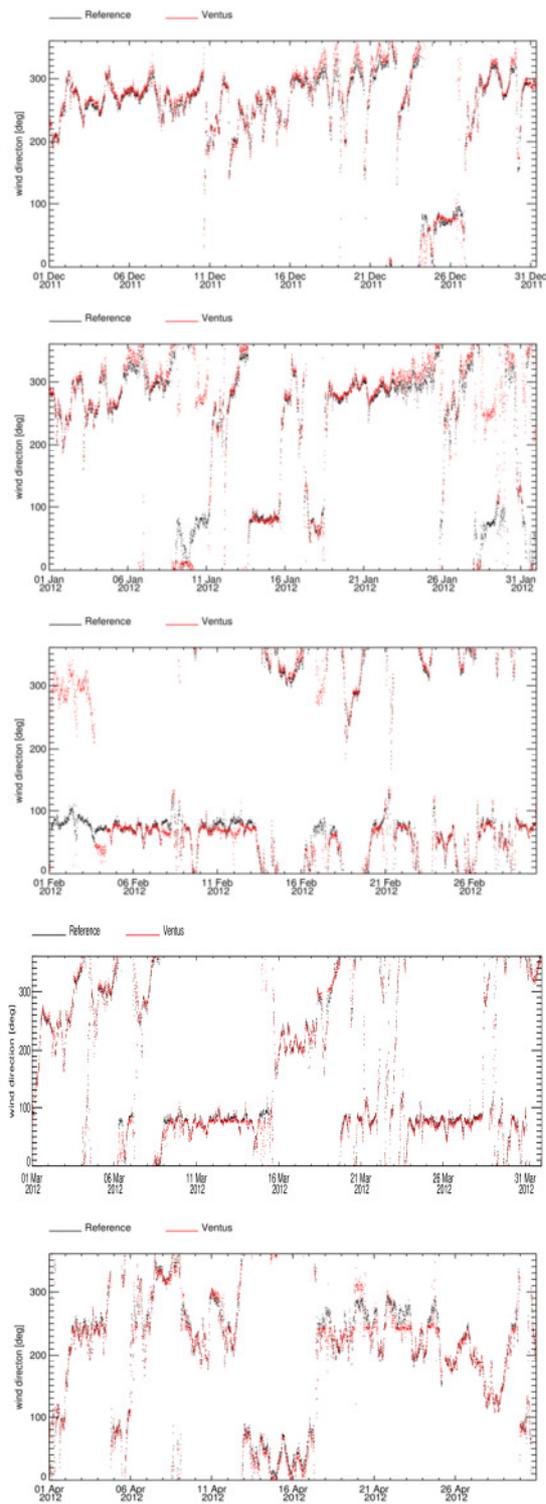


Abbildung 8: Windrichtungsmessung des Ventus (rot) und der Referenz (schwarz).

## 4 Fallstudien

### 4.1 Fall 1: 10.1.2012

Abbildung 9 zeigt eine Fotografie der Mastspitze am Morgen des 10.1.2012 bei einem starken Vereisungsereignis. Auf der Westseite des Masts liegt starker Eisansatz vor. Der Referenzwindsensor schaut oben aus dem Eis hinaus, während der Ventus Windsensor westseitig von Eis am Auslegerarm umgeben ist. Der Sensor selber ist zwar eisfrei, reicht aber sehr nahe an das Eis am Auslegerarm heran. Bei Ostwind liegt er im Windschatten des Eisansatzes, west- nord- und südseitig ist er eisfrei.



Abbildung 9: Links: Mastspitze bei einem starken Vereisungsereignis am 10.1.2012. Rechts: Zoom auf den Ventus Windsensor.

Abbildung 9 ist eine Momentaufnahme welche die Situation am 10. Januar 2012 am Morgen zeigt. Abbildung 10 zeigt die meteorologische Gesamtsituation davor und danach. Gehen wir zeitlich rückwärts, erreichen wir am 8. Januar (①) eine Nordwestwindlage mit feuchter Luft und Temperaturen unter dem Gefrierpunkt, worauf auf eine Phase der Eisanlagerung zu schliessen ist. In Phase ② folgt eine erste Ostwindphase während welcher die beiden Sensoren bereits unterschiedliche Windgeschwindigkeiten messen. Phase ③ mit feuchten kalten Nordwinden zeigt wieder gleiche Windgeschwindigkeiten an beiden Messgeräten. In Phase ④ kommt der 10. Januar zu liegen, wo Ostwind mit 10-15 m/s am Referenzsensor gemessen wurde, während der Ventus im Lee des Eises nur um die 2 m/s und Westwind anzeigte. Am Ende dieser Phase, der Wind dreht auf West und die gemessene Windgeschwindigkeit des Ventus erreicht wieder das Referenzlevel. Während Phase ⑤ steigen die Temperaturen auf über +5°C was möglicherweise zu einem Abschmelzen des Eises führen dürfte. Am Ende dieser Phase erreichen wieder eisige und feuchte Luftmassen aus Norden die Örtlichkeit, was wiederum zu Eisansatz führt.

Bei der darauf folgenden Ostwindlage (⑥) zeigt der Ventus Windsensor etwa um Faktor 2 tiefere Windgeschwindigkeitswerte. Die Windrichtung ist diesmal jedoch identisch. Die Phase unterschiedlicher Messwerte endet mit einer Änderung der Windrichtung (⑦).

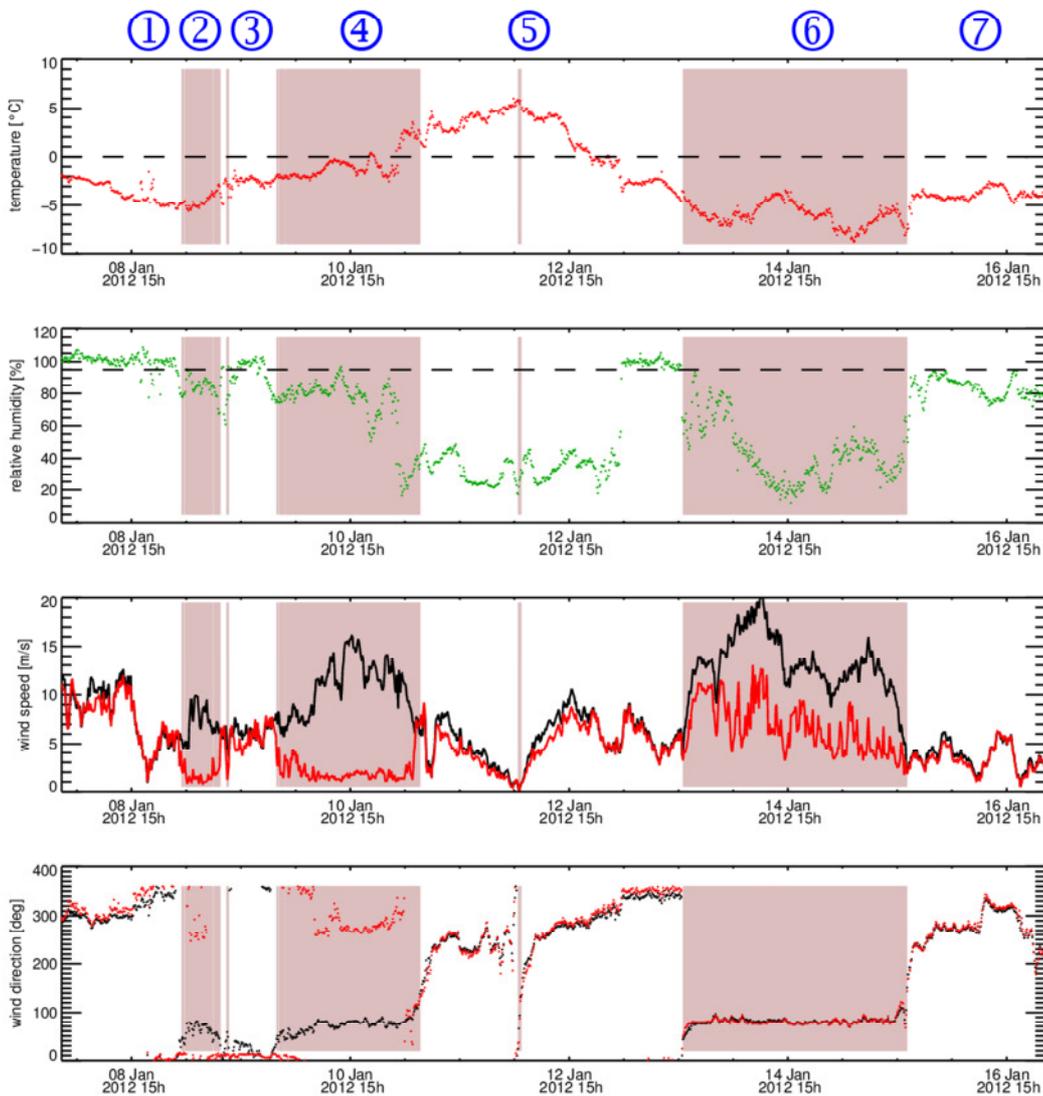


Abbildung 10: Meteorologische Situation vor und nach dem 10.1.2012. In den beiden Wind Graphen ist rot die Messung mit dem Ventus und schwarz die Referenzmessung. Rosa hinterlegt sind die Perioden mit Winden aus östlicher Richtung (Abschattung durch Messmasten).

## 4.2 Fall 2: 21.4.2012

Abbildung 11 zeigt die Messreihen vom 16.4.2012 bis zum 28.4.2012. Zu Beginn weht der Winde aus Nordwesten (①). Mit sehr kalter und feuchter Luft darf mit Eisansatz am Masten gerechnet werden. Da der Sensor aber nicht in dessen Windschatten steht wird er nicht negativ beeinflusst. Am 17.4. (②) treten deutliche Abweichungen der Windmessung zwischen Ventus und Referenz auf. Die Winde haben aber schon vor Beginn der Abweichung von Nordost auf West gedreht. Am grössten sind die Abweichungen zum Zeitpunkt, wo die Windrichtung auf 270° (West) steht. Möglicherweise handelt es sich hier um reine Abschattung durch den Masten. Phase ③ bis ⑤ sind geprägt von sehr feuchter, sehr kalter Luft aus mehrheitlich westlicher Richtung und Ereignissen, wo der Ventus deutlich tiefere Windgeschwindigkeiten mass. In Zwischenphasen mit Südwestwinden wurden gleiche Windgeschwindigkeiten gemessen. mit steigenden Temperaturen nach Phase ⑤ ist sicher kein Eis mehr vorhanden. Die Winde kommen aus Südsüdwest. Da keine optischen Bilder vorhanden sind, lässt sich über das Ausmass von Eisansatz und deren Beeinflussung keine direkte Aussage machen.

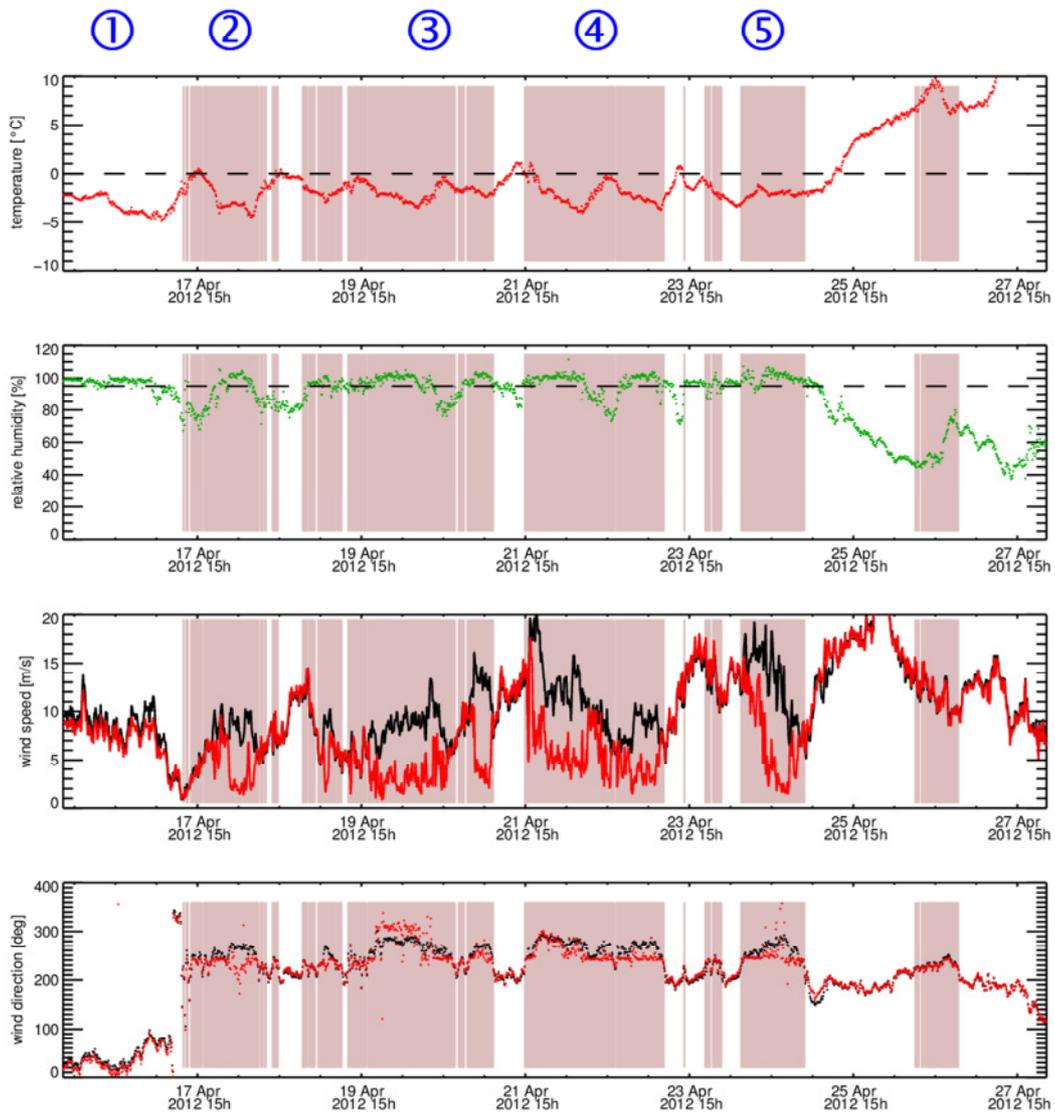


Abbildung 11: Meteorologische Situation vor und nach dem 21.4.2012. In den beiden Windgraphen ist rot die Messung mit dem Ventus und schwarz die Referenzmessung gezeigt. Rosa hinterlegt sind die Perioden mit Winden aus westlicher Richtung (Abschattung durch Messmasten).

## 5 Fazit

Der Ventus hat sich während der Messperiode durch exzellente Datenverfügbarkeit und gut korrelierende Messwerte im Vergleich zum Referenzsensor ausgezeichnet. Die leichten Abweichungen sind auf die leicht unterschiedliche Positionierung des Ventus (auf einem Seitenarm) im Gegensatz zur Referenz (Mastspitze) zurückzuführen.

Während bestimmter Windrichtungen sind jedoch mittlere bis starke Abweichungen zwischen den beiden Instrumenten erkennbar. Diese sind in erster Linie auf eine Abschattung des Ventus durch den Messmast zurückzuführen. Da die Beeinflussung nicht immer gleich stark ist, ist zu vermuten, dass in einigen Fällen auch eine Beeinflussung durch Eisansatz mitverantwortlich war.

In der Fallstudie 1 ist dies mit Kamerabildern deutlich sichtbar gemacht worden. Die Bilder zeigen, dass der Ventus trotz starker Vereisung eisfrei geblieben ist, jedoch stark durch Eisansatz am Auslegerarm beeinflusst wird.

Leider sind keine weiteren photographischen Dokumentationen von Vereisungseignissen vorhanden, was das Erklären von Abweichungen schwieriger macht. Auf Grund der meteorologischen Bedingungen durch die zusätzlichen Messungen der restlichen meteorologischen Parameter können wir Abweichungen erklären und Vereisung erahnen, wie dies in Fallstudie 2 gemacht wurde. Trotzdem bleibt es jeweils bei einer Vermutung über die ungleiche Beeinflussung von Eisansatz gegenüber der Referenz.

Um mehr Information über das Sensorverhalten unter vereisenden Bedingungen zu erhalten, wird empfohlen einen weiteren Test des Sensors unter Einbezug von Kamerabildern durchzuführen, da diese ermöglichen, zweifelsfreie Aussagen über den Zustand des Instruments zu machen.