

Windprofil-Komposits über Lindenberg

Bernd Stiller und Frank Beyrich (MOL-RAO) – 10.8.2018

Messungen des Windprofils in Lindenberg haben eine lange Tradition, bereits Anfang des 20. Jahrhunderts wurde mittels Drachenaufstiegen und Pilotballons der Wind in der freien Atmosphäre bestimmt, später kamen Radiosondierungen hinzu. Letztere leiden unter einer Verdriftung des Ballons mit der Radiosonde und einer geringen zeitlichen Auflösung bei nur vier Aufstiegen am Tag. Mit der Installation verschiedener Fernsondierungssysteme am MOL-RAO, in den 1990er Jahren beginnend, gelang der Übergang zu zeitlich hoch aufgelösten kontinuierlichen Messungen der Profile des Windvektors (Geschwindigkeit und Richtung). Dabei offenbarte sich auch die hohe zeitliche Variabilität des Windfeldes. Mit der Einrichtung des Grenzschichtmessfeldes Falkenberg wurden ab 1998 Windprofilmessungen bis 98 m Höhe an Masten möglich, ergänzt durch Messungen eines Doppler-Sodars. Seit Herbst 2012 werden zusätzlich semioperationelle Windmessungen mittels Infrarot-Doppler-Lidar zunächst in Lindenberg und ab Frühjahr 2014 auch in Falkenberg durchgeführt. Mit Sodar und Lidar kann die „Lücke“ zwischen Mastmessungen und den untersten Messhöhen des Radar-Windprofilers (ab etwa 450 m über Grund messend) geschlossen werden.



Abb.1: Windmesssysteme für das Komposit (von links nach rechts): Masten Falkenberg, Doppler-Sodar Falkenberg, Doppler-Lidar (Lindenberg und Falkenberg), Radar-Windprofiler Lindenberg

Bedingt durch unterschiedliche Messprinzipien und *Sampling*-Strategien stimmen die mit verschiedenen Verfahren in der gleichen Höhe ermittelten Windwerte nicht zwingend überein. Darüber hinaus messen Fernsondierungssysteme nicht unter allen Wetterbedingungen und oft auch nicht über den gesamten technisch möglichen Höhenbereich. Die Windmessung des Lidars wird vertikal beispielsweise durch (tiefe) Wasserwolken begrenzt, außerdem müssen ausreichend rückstreuende Teilchen (Aerosol, Eisteilchen) in der Atmosphäre vorhanden sein. Das Sodar misst relativ zuverlässig in den untersten Hektometern, aber nur in wenigen Situationen bis 700 m über Grund. Für eine Nutzung der Windprofilmessungen insbesondere für die Validierung der NWW-Modelle des DWD stand deshalb die Aufgabe, aus den vorhandenen Messdaten ein konsistentes vertikales Windprofil (engl. *composite wind profile*) abzuleiten und zugleich jedem ermittelten Komposit-Wert eine Unsicherheit zuzuordnen, die sowohl die Messunsicherheit als auch die zeitliche und räumliche Variabilität des Windes repräsentiert. Aus Analysen der einzelnen Messverfahren sowie vergleichende Untersuchungen der Systeme ließen sich den von den einzelnen Messsystemen bereitgestellten Messdaten Unsicherheiten zuordnen. Als Beispiel zeigt Abb. 2 Ergebnisse eines Vergleichs der Lidarmessungen an den beiden etwa 5 km voneinander entfernten Standorten Lindenberg (Observatoriumsgelände) und Falkenberg (Grenzschicht-Messfeld): Bis etwa 250 m über Grund wirkt sich die erhöhte Rauigkeit (Landnutzung plus Geländestruktur) in Lindenberg mit einer deutlichen Verminderung der Strömung aus. Windgeschwindigkeitsdifferenzen darüber weisen zusätzlich auf eine gerätetechnisch und verfahrensbedingte „Unsicherheit“ hin.

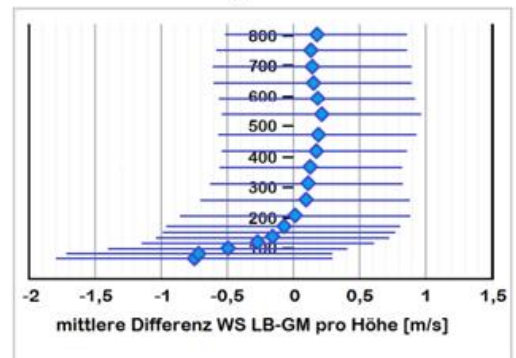


Abb.2: Profile von Mittelwert und Standardabweichung der Differenz der Windgeschwindigkeitsmessung zweier Doppler-Lidar-Systeme in Falkenberg (offene Agrarlandschaft) bzw. Lindenberg (Hügel, Waldflächen, Bebauung) im Winter 2016/17

Zur Erzeugung des Komposit werden die Daten aller Messsysteme auf ein einheitliches feinaufgelöstes Höhengitter interpoliert (Spline-Verfahren). Danach werden für jede Höhe, abhängig von den beigesteuerten Einzeldaten, ein gewogener Mittelwert und ein mittlerer Fehler des gewogenen Mittelwertes berechnet. Die Gewichte sind die Fehler bzw. Unsicherheiten der Einzelsysteme, die sich aus allgemeinen Fehlerbeschreibungen des Systems (z. B. Kalibrierunsicherheit), aber auch aktuellen Mess-Charakteristiken (Strömungsrichtung, Signal-Rausch-Verhältnis usw.) ergeben. Dabei wird dem Konzept von Gränicher (1996) gefolgt, der zwischen interner und externer Konsistenz unterscheidet und als Unsicherheit des gewogenen Mittels den Maximalwert beider Fehler (vgl. Gleichung (1), (2), weitere Details Gränicher (1996)) zuordnet.

Die Abb. 3 zeigt ein ausgewähltes Ergebnis in Form eines „Kontrollplots“ (Erzeugung erfolgt während der „Komposit-Produktion“). Erkennbar sind z.T. deutliche Unterschiede der Werte der Einzelsysteme (blaue Symbole), die zeitliche Variabilität ist etwas größer als die Unsicherheit des gewogenen Mittels. In den NWV Modellen wird der Low-Level-Jet nicht korrekt wiedergegeben, oberhalb 300 m liegen die Modellergebnisse (hier vom 12 UTC-Lauf des Vortags) außerhalb von Unsicherheit plus Variabilität der Messwerte.

$$s^2_{m,int} = \frac{1}{\sum_i 1/s_i^2} \quad (1)$$

$$s^2_{m,ext} = \frac{[p(x - \bar{x})^2]}{(N - 1)[p]} \quad (2)$$

Das so geschaffene halbstündliche Windkomposit (Abb. 4 zeigt ein Beispiel für einen Tagesplot) ist für Messungen beginnend ab 1.1.2014 in der Datenbank Lindenerger Säule abgelegt und enthält die Komponenten des Horizontalwindvektors u und v sowie die daraus abgeleiteten Größen Windgeschwindigkeit und Windrichtung. Allen vier Mittelwerten sind jeweils Unsicherheiten und eine zeitliche Variabilität (die Veränderlichkeit innerhalb eines ± 1 h-Zeitraumes) zugeordnet.

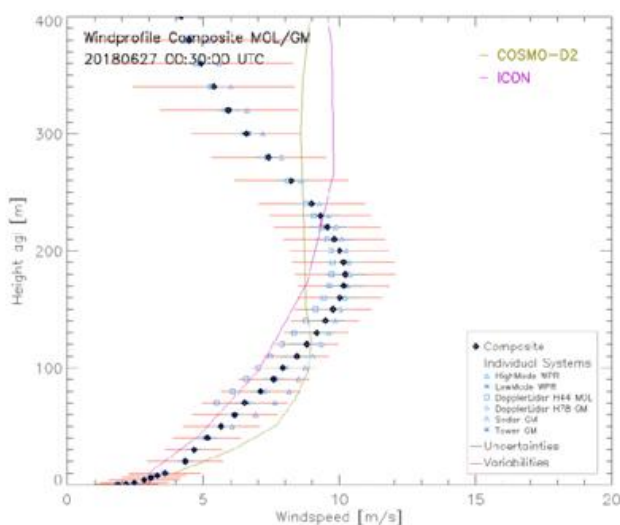


Abb.3: Profil der Windgeschwindigkeit bis 400 m Höhe mit Unsicherheitsbalken (grau) und zeitlicher Variabilität (rot) für einen Termin im Juni 2018 und zugeordnete Modellvorhersagen (COSMO-D2, ICON)

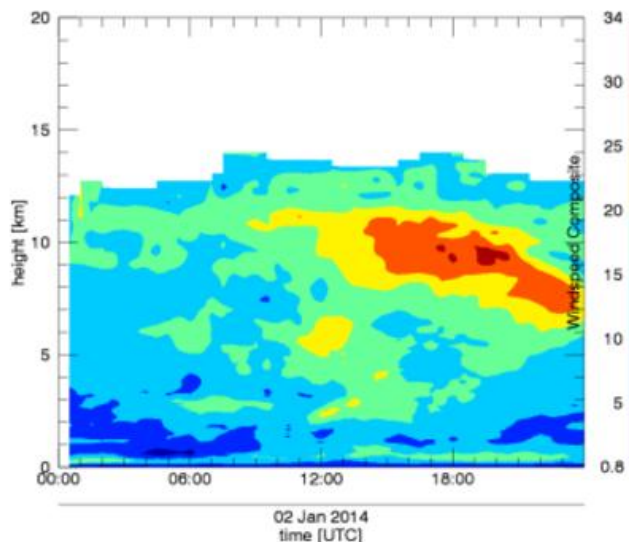


Abb.4: Zeit-Höhen-Plot der Komposit-Windgeschwindigkeit über Lindenberg für einen Tag am Beginn der Auswerteperiode, das Komposit überdeckt alle Höhenbereiche bis ca. 13 km

Die inzwischen über 4 ½ Jahre ermittelten Komposit-Profile ermöglichen einerseits Auswertungen zum „Windklima“ über Lindenberg als auch Aussagen zur Güte der Windvorhersagen der verschiedenen NWV-Modelle des DWD. Das ist nicht zuletzt bedeutsam für die Windenergieanlagen mit immer größeren Nabenhöhen.

Literatur: Gränicher, W. H. (1996): Messung beendet, was nun? Einführung und Nachschlagewerk für die Planung und Auswertung von Messungen . 2., überarb. Aufl. – Zürich: vdf, Hochsch.-Verl. an der ETH Zürich; Stuttgart: Teubner