

Erprobung eines Infrarot-Doppler-Lidars

Dr. Ronny Leinweber, Dr. Volker Lehmann, MOL-RAO, 03.12.2013

Die Entwicklung der optischen Fernmessung des Windes begann in der zweiten Hälfte der 1960'er Jahre, nachdem erste geeignete Lasersysteme zur Verfügung standen. Insbesondere die scharfe Bündelung des Laserstrahls und die damit einhergehende hohe räumliche Auflösung sowie die im Vergleich zu Radarsystemen bestehende Unempfindlichkeit gegenüber Störschall (Clutter) machen dieses Verfahren für meteorologische Messsysteme attraktiv. Bei der Verwendung von Wellenlängen im UV-Bereich wird das ausgesandte optische Signal an Gasmolekülen und suspensierten festen und/oder flüssigen Teilchen (Aerosole, Wolken) gestreut, bei langwelligeren Systemen wird ein messbares Streusignal dagegen aufgrund der λ^{-4} -Abhängigkeit der Molekularstreuung nur von Partikelensembles erzeugt.

Eine Herausforderung ist dabei die Messung der im Vergleich zur Wellenlänge kleinen Dopplerverschiebung: Die Frequenz eines bei $1.5 \mu\text{m}$ arbeitenden Infrarotlasers beträgt ca. 200 THz, eine Windgeschwindigkeit von 10 ms^{-1} erzeugt dagegen bei dieser Wellenlänge nur eine Frequenzänderung von ca. 13 MHz, die relative Frequenzänderung beträgt also nur ca. 6×10^{-8} . Die Entwicklung von Doppler-Lidarsystemen war daher eine erhebliche technische Herausforderung, insbesondere im Hinblick auf Systemstabilität und -kosten. Mit der rasanten Entwicklung der optischen Nachrichtentechnik ergab sich aber vor wenigen Jahren die Möglichkeit der Verwendung von industriell gefertigten „photonischen“ Komponenten (z.B. von robusten Faserlasern) in dem für Kommunikationssysteme verwendeten Wellenlängenbereich von $1.5 \mu\text{m}$. Das hat zur Entwicklung einer neuen Geräteklasse von kompakten und augensicheren Doppler-Lidarsystemen geführt, die das Potential für eine operationelle Anwendung aufweisen.

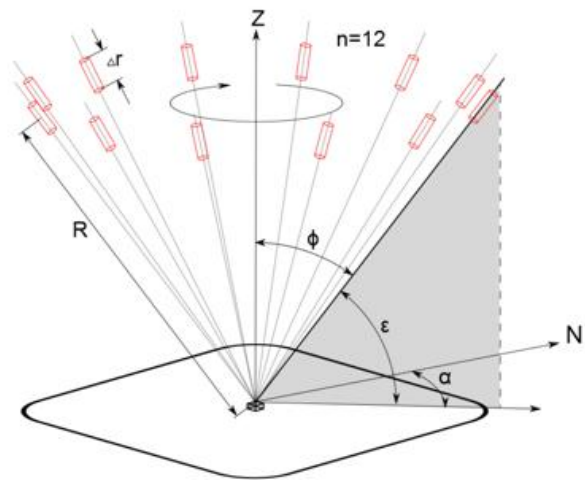


Abb. 1: Streamline-Lidar am MOL-RAO (links), Abtastschema für VAD-Scan: 12 Strahlrichtungen mit einem konstanten Elevationswinkel von 75° (rechts)

Am MOL-RAO ist seit September 2012 ein derartiges Doppler-Lidar des Typs "Streamline" der Fa. Halo Photonics in der Erprobung (siehe Abb. 1). Da die vertikale Reichweite einerseits auf Schichten mit einem hinreichenden Aerosolgehalt beschränkt und andererseits nach oben hin aufgrund der Extinktion in optisch dicker Bewölkung begrenzt ist, eignen sich diese Geräte speziell für Messungen in der atmosphärischen Grenzschicht. Das Lindenerger Gerät ist daher als optischer Windprofiler konfiguriert - mit dem Ziel, Vertikalprofile des Windvektors von ca. 100 m bis, je nach Rückstreubedingungen (Vorhandensein von Wolken), maximal 10 km Höhe zu bestimmen. Es ergänzt damit die Windmessung des 482 MHz Radar-Windprofilers, dessen unterste Messhöhe technisch bedingt bei 450 m liegt.

Aus dem rückgestreuten Infrarotlicht des ausgesandten 150 ns langen Laserpulses wird durch ein optisches Überlagerungsverfahren („Heterodyn-Prinzip“) ein messbares Hochfrequenzsignal erzeugt, aus dem die Rückstreuintensität und die Frequenzänderung bestimmt werden. Eine Einzelmessung basiert dabei auf der Mittelung von 75.000 Pulsen.

Für jedes monostatische Windmesssystem werden Radialwindmessungen aus mindestens drei linear unabhängigen Richtungen benötigt, um unter gewissen Annahmen über das Windfeld den Windvektor berechnen zu können. Der hemisphärische Scanner des MOL-RAO-Lidars erlaubt

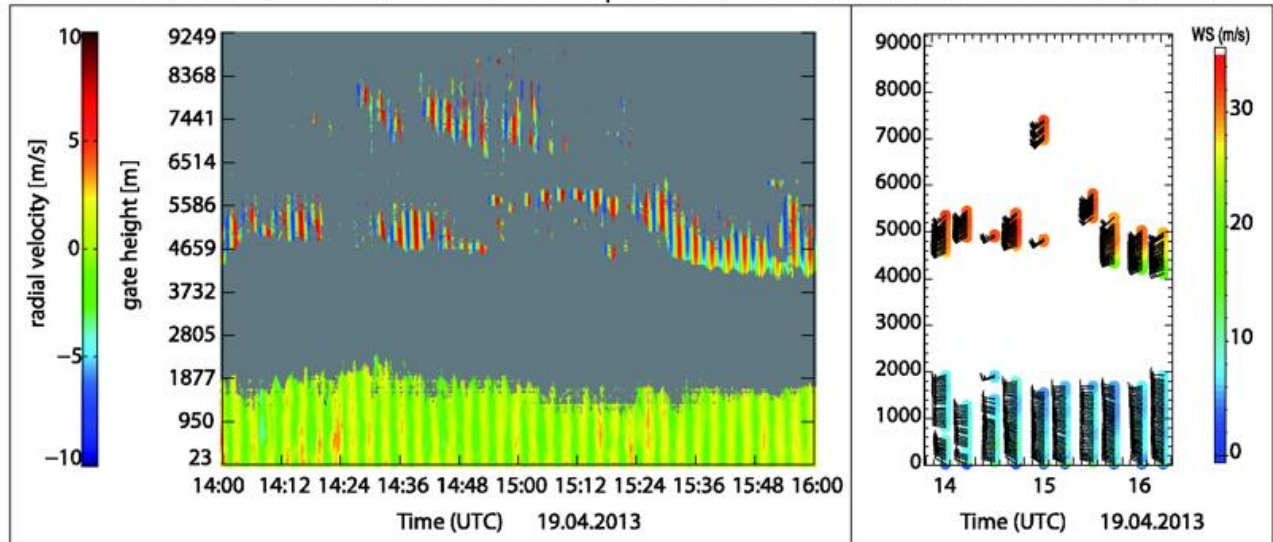


Abb. 2: Links: Radialwinddaten eines 24-Beam VAD-Scans, 19.04.2013 14:00 -16:00 UTC. Rechts: Berechneter Horizontalwindvektor vom 19.04.2013 14:00-16:30 UTC, Zeitauflösung 15 min. Die Windgeschwindigkeit (WS) wird zusätzlich farblich dargestellt.

eine freie Programmierung der Abtastung des gesamten oberen Halbraums. In der aktuellen Messkonfiguration werden derzeit 24 Strahlrichtungen mit einer konstanten Elevation von 75° (Zenitwinkel 15°) verwendet, was einem klassischen VAD (Velocity Azimuth Display) - Scan mit einer Azimut-Schrittweite von 15° entspricht.

Die Arbeiten am MOL konzentrieren sich derzeit auf die Entwicklung eines optimierten Verfahrens zur Ableitung des dreidimensionalen Windvektors aus Radialwindmessungen bei verschiedenen Scankonfigurationen. Ein Beispiel für die vom Lidarsystem gemessenen Radialwinde ist im linken Teil der Abb. 2 dargestellt. Das „zebraartige“ Streifenmuster zeigt dabei die Veränderung der Radialgeschwindigkeit aufgrund der verschiedenen Azimutwinkel. Während die Rückstreusignale aus dem Höhenbereich unterhalb von ca. 1.9 km Höhe durch Aerosole im Bereich der atmosphärischen Grenzschicht hervorgerufen werden, stammen die Echos im Höhenbereich um 5 km bzw. um 8 km von Eiswolken, in die der Laserpuls aufgrund ihrer geringen optischen Dicke noch mehrere hundert Meter eindringen kann. Der rechte Teil von Abbildung 2 zeigt den bei Annahme lokaler horizontaler Homogenität des Windfeldes abgeleiteten horizontalen Windvektor.

Inzwischen stehen nahezu unterbrechungsfreie Messdaten eines gesamten Jahres zur Verfügung. Während die technische Systemverfügbarkeit bei 92 % lag, nahm die Verfügbarkeit von Winddaten aufgrund der variablen Rückstreubedingungen mit der Höhe ab: In 200 m Höhe konnten Winddaten noch in ca. 90 % der Messzeit erhalten werden, in 2000 m Höhe dagegen nur noch in ca. 21 % der Messzeit. Die Auswertung der Messungen erfolgt derzeit vor allem im Vergleich zum operationellen 482-MHz-Radar-Windprofiler des MOL-RAO. Erste Ergebnisse zeigen sehr gute Übereinstimmungen der abgeleiteten Windprofile. Die über alle Höhenstufen gemittelten Abweichungen zum Windprofiler betragen lediglich $0,3 \text{ ms}^{-1}$ für die Windgeschwindigkeit und nur $0,3^\circ$ für die Windrichtung.