



LIDAR: Wasserdampf in der dritten Dimension

Um genaue Wetterprognosen zu erstellen, interessieren sich Meteorologen für die dritte Dimension, denn das Wetter „spielt sich in der Höhe ab“. Dank dem von der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Lausanne (EPFL) entwickelten Messsystem Lidar kann die Luftfeuchtigkeit in der Atmosphäre kontinuierlich und automatisch bis zu einer Höhe von 10 km beobachtet werden.

Das Funktionsprinzip

Lidar steht für «Light Detection and Ranging», was sich mit «Erfassung und Messung von Lichtwellen» übersetzen lässt. Das Lidar funktioniert nach dem gleichen Prinzip wie ein Radargerät, verwendet aber elektromagnetische Wellen, die normalerweise im ultravioletten bis nahen infraroten Spektralbereich liegen.

Der Laser: Von der Aerologischen Station in Payerne aus sendet die Laserquelle des Lidars 30 Mal pro Sekunde einen Lichtpuls von einigen Nanosekunden Dauer und einer Wellenlänge von 355 nm aus. Diese Lichtpulse formen den Laserstrahl. Beim Austritt des Laserstrahls erlaubt es ein System von Prismen und Linsen, den Strahl in die Vertikale zu richten und es auf einen Durchmesser von 15 cm zu vergrössern: Dadurch genügt der Laserstrahl den optischen Sicherheitsanforderungen und seine parallele Anordnung wird optimiert. In einer Höhe von 1 km erreicht der Durchmesser des Laserstrahls etwa 25 cm.

Während seiner Reise durch die Atmosphäre interagiert das Licht auf verschiedene Art und Weise mit festen und gasförmigen Teilchen in der Luft. Trifft der Lichtstrahl auf Wassermoleküle, so wirft jedes einen Teil des Laserstrahls auf die Erde zurück, gleichzeitig wird die Wellenlänge verschoben. Diese Verschiebung (der Raman-Effekt) ist spezifisch für jedes Molekül: Für das Wasser ist die Raman-Rückstrahlung bei 408 nm (ausgehend von einem Laserstrahl zu 355 nm).

Die Teleskope: Im Lidar-Labor fängt ein Instrumentarium von fünf Teleskopen die rückgestreute Strahlung auf. Jede dieser optischen Teleskopachsen ist parallel zum Laserstrahl ausgerichtet. Die Teleskope fokussieren das gesammelte Licht auf optische Fasern, die so konstruiert sind, dass sie dieses Licht zu einer Box «transportieren», welche das Licht nach Wellenlänge separieren kann. Jedes Teleskop konzentriert das Licht, auch das gestreute Sonnenlicht: Es geht also darum, die Sonnenkomponente, die eine grosse Rauschquelle darstellt, vom Raman-Licht zu trennen.

Beim Austritt dieser Wellenlängen-Separierungsbox wird ein Lichtdetektor, ein sogenannter Fotomultiplikator, platziert. Dieser verwandelt das ankommende Licht in ein elektrisches Signal, das anschliessend digitalisiert und analysiert wird.

Das Lidar-Signal: Aufgrund der Intensität $P(R)$ des elektrischen Signals kann die Menge der Wassermoleküle für jeden Zeitschritt des Aufzeichnungsprozesses berechnet werden. Da die Lichtgeschwindigkeit bekannt ist, erlaubt die verstrichene Zeit zwischen dem Aussenden des Lichtpulses und dem Empfang des Lichtimpulses auf dem Fotomultiplikator, die Höhe R , wo eine bestimmte Konzentration von Wassermolekülen beobachtet wurde, genau zu berechnen. Um den effektiven Druck der analysierten Luftmassen zu bestimmen, wird ein zweites rückgestrahltes Raman-Signal mit der Wellenlänge 387 nm verwendet. Dieses Signal entspricht der «Signatur» des Stickstoffmoleküls: das Wasser zu Stickstoff Verhältnis von beiden Lidar-Signalen ist der Schlüssel zur Bestimmung der Wasserdampfkonzentration im untersuchten Luftvolumen.

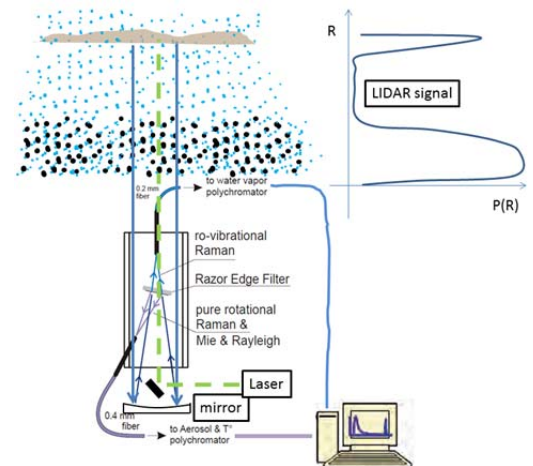
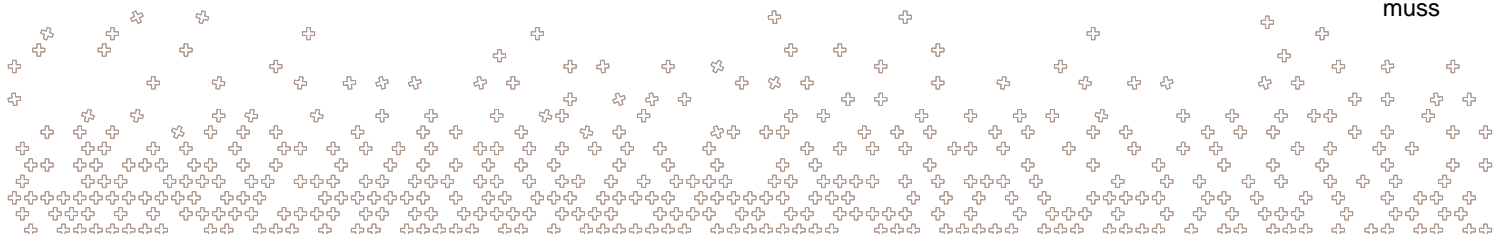


Abbildung 1
Darstellung des Funktionsprinzips von Lidar (weitere Erklärungen im Text)

Die Leistungsfähigkeit des Lidars: Das Lidar misst mit jeder Aussendung eines Lichtpulses ein neues Wasserdampfprofil in Abhängigkeit von der Höhe. Die Stärke der gemessenen Signale ist schwach, man muss



diese Signale also aufsummieren, um ein für meteorologische Anwendungen genügend präzises Resultat zu erhalten: Standardmässig wird ein Wasserdampfprofil kontinuierlich alle 30 Minuten erstellt. Die daraus resultierende Zeitreihe stellt eine Information dar, die den Wetterdiensten bisher noch nie zur Verfügung stand. Zum Vergleich: Die seit Jahrzehnten von Radiosonden der Aerologischen Station Payerne gemessenen Wasserdampfprofile werden zweimal täglich erhoben. Das Lidar hingegen misst ohne Unterbruch, sein Betrieb hängt jedoch von den Wetterbedingungen ab: Bei Regen, Schnee und niedriger Wolkendecke ist die Lidarmessung nicht möglich. In diesem Fall wird das Gerät in den Wartemodus versetzt. Unter Berücksichtigung der klimatischen Verhältnisse des Standorts Payerne ist das Lidar-System ungefähr 2/3 des Jahres im Messmodus.

Eine ideale Ergänzung zu den Messsystemen der MeteoSchweiz

An der Aerologischen Station Payerne sind die Lidar-Wasserdampfmessungen ein wesentliches Element der klimatischen Überwachung in der vertikalen Dimension. Diese Entwicklung und dieser Fortschritt tragen zur Kompetenz bei, für die der Standort Payerne auf dem Gebiet der Messinstrumente seit jeher bekannt ist, indem die lokalen Messungen (das Bodenmessnetz SwissMetNet, Messungen des Strahlungsgleichgewichtes auf der Oberfläche – Baseline Surface Radiation Network) mit den Messungen in der freien Atmosphäre durch die Ballonsonden und die Fernerkundung zusammengeführt werden (Radarmessung, Mikrowellenmessung, GPS).

Für die neuen, hochauflösenden Vorhersagemodelle von MeteoSchweiz ist die kontinuierliche Messung des Wasserdampfs in der freien Atmosphäre eine Anfangsgrösse, die bis jetzt noch nie zur Verfügung stand: Das Lidar eröffnet neue Perspektiven in der ständigen Verbesserung der Wettervorhersagen durch numerische Modelle.

International gesehen ist dieses Gerät ein Demonstrationsmodell, das von der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) und ihrer Kommission für Instrumente und Messmethoden (CIMO) erwartet wurde: Es stellt eine moderne Alternative zu den Methoden der Radiosondierung dar, eine einzigartige Methode, um Satellitenmessungen zu validieren: Dieses Instrument vervollständigt die Referenzmessungen der Aerologischen Station mit dem Ziel, den Standort Payerne als eines der wenigen Observatorien zu etablieren, die von der WMO mit der Überwachung des Klimawandels in der freien Atmosphäre beauftragt sind.

Nach 15 Jahren Entwicklungsarbeit an den Laboratorien der EPFL, nach vier Jahren der Realisierung des einzigen Lidar-Prototypen bei der MeteoSchweiz in Payerne (2004 – 2008), nahm das Lidar den operativen

Betrieb anfangs 2008 auf. Die gute Leistung des Lidar, was die Qualität und die Verfügbarkeit der Daten betrifft, wird seitdem durch einen Partnerschaftsvertrag gesichert, der das gemeinsame Engagement weiterführt.

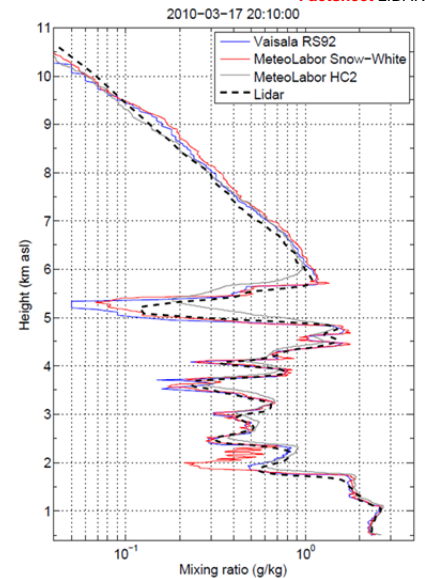


Abbildung 2

Die Wasserdampfkonzentration in g/kg (Gramm Wasserdampf pro kg trockener Luft) auf einer Reichweite von 10 km Höhe vom Boden wird mit drei unabhängigen Messsystemen verglichen: SnowWhite und Vaisala RS92 sind Messungen von Radiosonden, deren Sensoren einerseits die Temperatur des Taupunktes (SnowWhite), andererseits eine Veränderung der Kapazität des Sensors entsprechend der Wasserdampfaufnahme auf dem Substrat messen (Vaisala RS92). Dieses Resultat illustriert die Qualität der Kalibrierung von Lidar-Messungen.

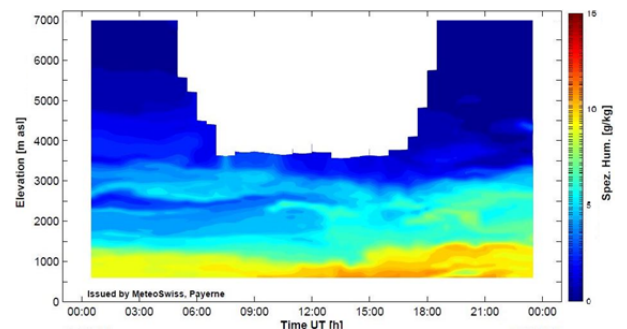


Abbildung 3

Beispiel einer Zeitreihe über 24 Stunden: Wasserdampfkonzentration als Funktion der Höhe, vom Lidar-System kontinuierlich über dem Standort Payerne gemessen.

Zusätzliche Information
www.meteoschweiz.ch

