

GAW Brief des DWD

Nr. 49, Oktober 2009

Harald Flentje, Jens Reichardt* and Werner Thomas
 Meteorologisches Observatorium Hohenpeißenberg
 * Meteorologisches Observatorium Lindenberg



Aerosolsondierung mit Hilfe des DWD Ceilometer Netzwerks

Der DWD installiert gegenwärtig in seinem synoptischen Beobachtungsnetz bis zu 60 CHM15K Ceilometer als Wolkenbasis-Höhendetektoren. Neben der Wolkeninformation liefern diese low-cost/low-power Lidarsysteme der JENOPTIK GmbH in Jena (www.jenoptik-los.com) hochaufgelöste Rückstreuprofile, aus denen 2-D Verteilungen atmosphärischer Partikel abgeleitet werden können. Durch erhebliche Verbesserungen der ursprünglich für Wolkenhöhen konzipierten Geräte, können diese nun auch die Entwicklung der planetaren Grenzschicht (PBL) und dichtere Partikelwolken in der freien Troposphäre (z.B. Saharastaub oder Rauch) verfolgen und Extinktionsprofile abschätzen, falls zusätzliche entsprechende Bodenmessungen verfügbar sind. Der Informationsgehalt der CHM15K Ceilometerdaten und ihre Unsicherheiten werden momentan untersucht, sowie mögliche Anwendungen in der numerischen Modellierung und ihre Integration in bestehende Lidarnetzwerke wie EARLINET oder das zukünftige Global Aerosol Lidar Observation Netz GALION der WMO.

Ende 2009 sind etwa 45 Instrumente an den in Abb. 1 dargestellten Stationen in Betrieb. Der dioden-gepumpte Nd:YAG Festkörperlaser (1064 nm) des CHM15K liefert max. 8 $\mu\text{J/pulse}$ bei 5-7 kHz Pulsrate. Der gepulste Laserstrahl verläuft im Sichtbereich eines Newton-Teleskops. Die zurückgestreute Strahlung wird kollimiert und durch einen schmalbandigen Interferenzfilter auf eine im Photon-counting Mode betriebene Lawinenphotodiode geleitet. Der zur Auswertung nutzbare Höhenbereich reicht von 600m (Überlapp zwischen Laserstrahl und Teleskop-Sichtbereich) bis 15km über Grund (ü.G.). Die vertikale Auflösung beträgt 15m.

Die Bestimmung des Rückstreuprofiles von Partikeln und Molekülen in einer atmosphärischen Säule ist in der Lidar Literatur vielfach beschrieben [z.B. Böckmann et al. 2004 und darin enthaltene Referenzen]. Der Betrieb bei 1064 nm gewährt einen relativ großen Kontrast der Partikel- zur Molekül-Rückstreuung, aber die Streueffizienz nimmt für Partikel mit Radien deutlich unterhalb der Laser-Wellenlänge stark ab. Dadurch können zwar geometrische Strukturen von Wolken und Aerosolschichten gut aufgelöst werden, doch die quantitative Kalibrierung der Einzelprofile durch den molekularen Hintergrund weist große Unsicherheiten auf. Qualitativ ist die PBL das auffälligste Merkmal in Zeit-Höhen-

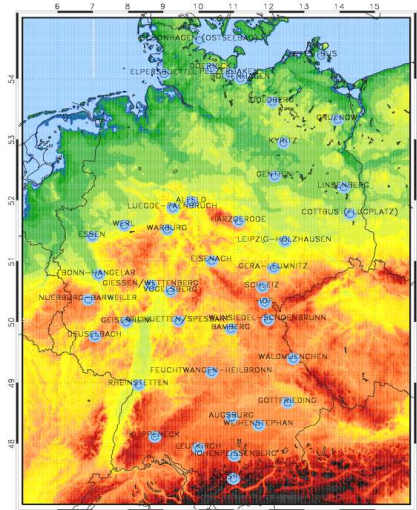


Abb 1: DWD Stationen mit operationellen CHM15K Ceilometern.

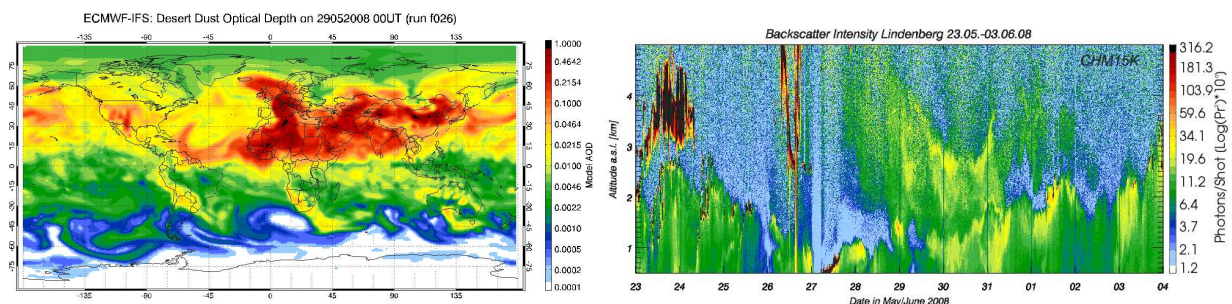


Abb. 2: (a) Aerosol optische Dicke am 29 Mai 2008, 00 UT in der GEMS Globalmodell-Analyse am ECMWF. Saharastaub ist erkennbar als rotfarbener Streifen über Europa. (b) R^2 -korrigiertes Rückstreusignal des CHM15K ceilometers in Lindenberg vom 23.Mai - 3.Juni 2008.

Verläufen der Rückstreuintensität und es gibt verschiedene Algorithmen zur Bestimmung der PBL-Obergrenze aus Ceilometer/Lidardaten wie etwa durch Brooks [2003] beschrieben. Darüber hinaus sind die Ceilometer aber auch in der Lage, in der freien Troposphäre Partikel wie etwa Saharastaub, Pollen, Rauchwolken oder Vulkanasche nachzuweisen, wenn deren Größe oder Konzentration ein ausreichendes Streusignal erzeugt.

Saharastaub ist relativ einfach nachzuweisen, da er aus großen Partikeln besteht und typischerweise die Ursache für stark staubbeladene Luftmassen ist, wie z.B. vom 24 Mai – 3 Juni 2008 (Abb. 2). Er kann mittels Trajektorien, Satellitenbildern und CTM Analysen (<http://www.gmes-atmosphere.eu>) in die Quellgebiete zurückverfolgt werden. Abb. 2a zeigt den Transport von Saharastaub nach Zentraleuropa anhand der ECMWF Analyse der Aerosol optischen Dicke (AOD) am 29 Mai 2008. Im Zeitverlauf des Rückstreuprofils (Abb. 2b) ist die Entwicklung der Staubschichten über Lindenberg vom 23. Mai – 3. Juni 2008 zu erkennen. Die Aerosolschichten sinken großskalig mit der Luftmasse ab und nicht durch Sedimentation, die für Partikel von einigen μm Größe nur wenige m pro Tag beträgt. Feuerpartikel wiederum werden je nach Stärke der Pyrokonvektion in einen engen Höhenbereich injiziert, und breiten sich dann nahezu isentrop aus. Sie bilden daher dünne Schichten mit charakteristischen optischen Eigenschaften. Eine potentielle Waldbrandschicht in der freien Troposphäre zeigt Abb. 3, hier kalibriert als Rückstreuverhältnis – der Extinktionskoeffizient innerhalb der Schicht beträgt abgeschätzt etwa $4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^{-1}$.

Die Lösung der Lidargleichung für Rückstreuprofile erfordert die Kenntnis des Rückstreuung/Extinktion-Verhältnisses (lidar ratio LR) und des Rückstreukoeffizienten in einer Referenzhöhe. Fehlt die Partikelinformation, wird das LR oft als höhenkonstant betrachtet. Bei 1064 nm weisen praktisch alle Profile einen Höhenbereich auf, in dem der Beitrag der Partikelstreuung vernachlässigt werden kann. Wenn die PBL hinreichend homogen und der Bodengradient gering genug sind, können nahe gelegene Messungen mit einem Radiometer (AOD) oder Nephelometer (Streukoeffizient) zur Kalibration der Ceilometerprofile herangezogen werden. Der zum Extinktionsintegral des Ceilometers fehlende Anteil des Überlappbereichs sowie das LR des optisch dominanten Grenzschichtaerosols kann oft aus Nephelometermessungen abgeschätzt werden [Doherty et al., 1999]. So liefert das Extinktionsprofil am Hohenpeißenberg am 23 Aug 2009 eine AOD von $\tau \approx 0.055$ oberhalb von 400 m über Grund (ü.G.). Gemäß Nephelometerdaten trägt der Überlappbereich, in dem das Ceilometer nicht sensitiv ist, weitere $\tau \approx 0.04$ bei. Die resultierende AOD $\tau \approx 0.1$ stimmt etwa mit parallel laufenden Radiometermessungen überein, was sowohl die Kalibration als auch das gewählte LR bestätigt. Die Empfangsoptik der Ceilometer wird gegenwärtig so modifiziert, dass der Überlapp bereits in 100 m ü.G. vollständig erreicht ist. Dies verbessert einerseits die Kalibration und liefert außerdem eine bessere Vergleichbarkeit mit GAW Bodenmessungen.

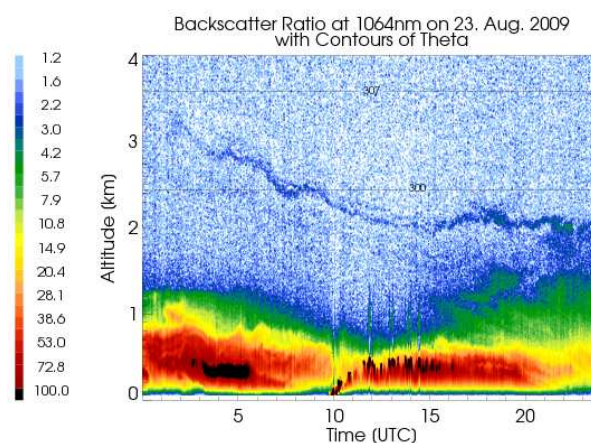


Abb. 3: Aerosolschichten über Hohenpeißenberg am 23. Aug 2009, vermutlich aus Waldfeuern.

In Zukunft wird weiterhin der optische Informationsgehalt durch Vergleich mit EARLINET Referenzsystemen sowie Bodenmessungen der Extinktion und AOD untersucht. Aus den Daten der DWD-Ceilometer wird dann eine 3-D Rückstreu-Verteilung über Deutschland abgeleitet, mit der Aerosoltransporte mitverfolgt werden können. Dieser Datensatz könnte sich sowohl zur Assimilation in numerische Modelle als auch zur Validierung von Satellitensensoren eignen.

Referenzen:

Böckmann, et al., Aerosol lidar inter-comparison in the EARLINET project. 2. Aerosol backscatter algorithms, Appl. Opt, 43, 4,2004
 Brooks, I.M., Finding boundary layer top: Application of wavelet covariance ..., J. Atmos. Ocean. Technol., 20, 1092-1105, 2003
 Doherty, S.J., et al., Measurement of the lidar ratio for aerosols with a 180°backscatter nephelometer, Appl. Optics, 38, 9, 1999

Harald.Flentje@dwd.de