

Lidar-Messungen des Fluoreszenzspektrums atmosphärischer Aerosole: Fallbeispiel Brandaerosole

Jens Reichardt (MOL-RAO) – 18.01.2017

Lidarsysteme gehören seit vielen Jahren zum Instrumentarium der Meteorologie. Ein besonders leistungsfähiges Lidar ist das RAMSES-Instrument des Meteorologischen Observatoriums Lindenberg. Ursprünglich zur Messung des Feuchteprofils im Jahr 2005 in Betrieb genommen, hat RAMSES nach etlichen Erweiterungen nun einen Leistungsstand erreicht, der weltweit einzigartig ist: Mit diesem Lidar können nicht nur Rückstreuesignale bei einzelnen, diskreten Wellenlängen höhenaufgelöst gemessen werden, sei es bei der Senderwellenlänge (bei RAMSES beträgt diese 355 nm) oder bei den molekulspezifischen Raman-Wellenlängen von beispielsweise Wasserdampf und Stickstoff, sondern ganze Spektralbereiche. Mit dieser spektroskopischen Messkapazität erschließen sich RAMSES ganz neue Forschungsbereiche wie z.B. Messungen des Wassergehalts von Flüssigwasser-, Mischphasen- und Eiswolken oder der Fluoreszenz atmosphärischer Aerosole zum Studium der Koexistenz von Wolken und Aerosolen oder der Aerosolcharakterisierung. Zu letztgenannter Anwendung soll hier anhand eines Fallbeispiels die Leistungsfähigkeit demonstriert werden.

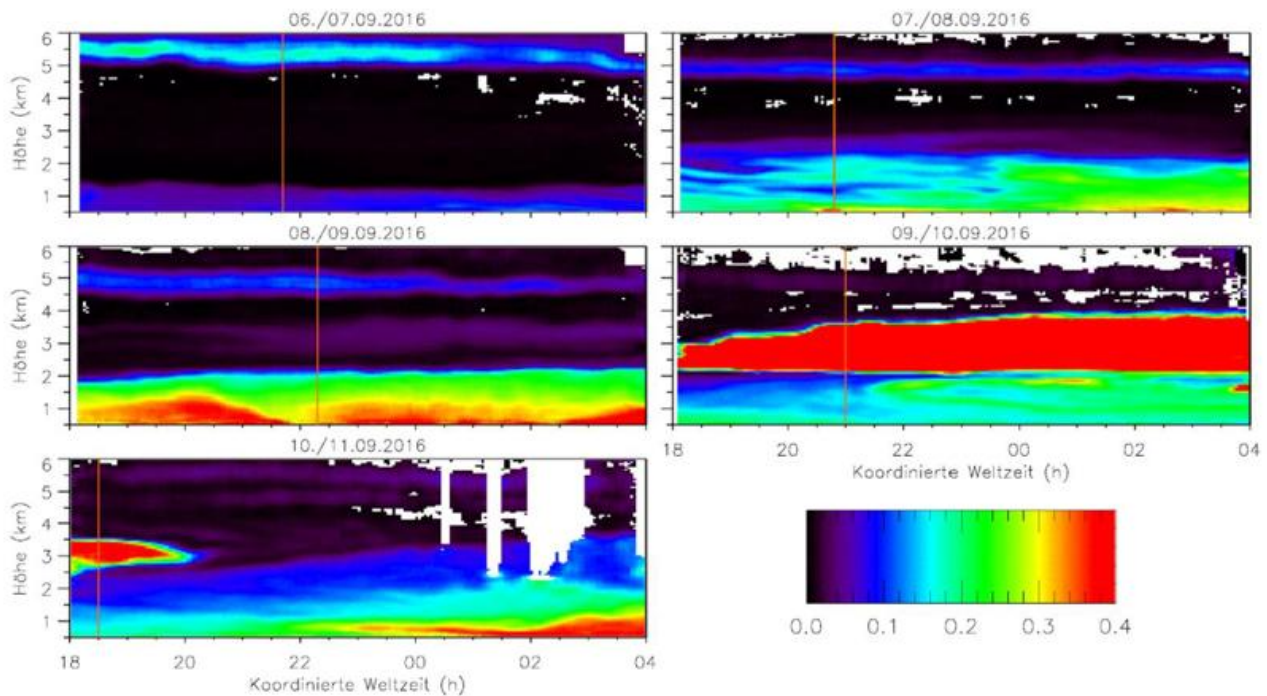


Abbildung 1: Messung des Rückstreckkoeffizienten (in $Gm^{-1} sr^{-1}$) der Aerosolfluoreszenz in den fünf Nächten vom 6. bis zum 10. September 2016. Dargestellt sind die zwischen 455 und 536 nm integrierten Fluoreszenzspektren. Zeitpunkte, für die Messprofile (Abb. 2) bzw. Fluoreszenzspektren (Abb. 3) dargestellt werden, sind durch orangene Linien gekennzeichnet.

Abbildung 1 zeigt fünf aufeinanderfolgende RAMSES-Messnächte Anfang September 2016. Dargestellt ist der blaugrüne Fluoreszenz-Rückstreckkoeffizient im Zeit-Höhenschnitt. Man beachte die hohe Dynamik und Vielgestaltigkeit der Messung. Auffallendste Merkmale sind die hohe Variabilität im Bereich der Grenzschicht, das Fluoreszenzfilament oberhalb 4,5 km Höhe, das über den gesamten Messzeitraum, mit abnehmender Deutlichkeit, zu sehen ist sowie die stark fluoreszierende Aerosolschicht, die am 9. September zwischen 2 und 4 km auftritt und deren Ausläufer noch in der Folgenacht gemessen werden.

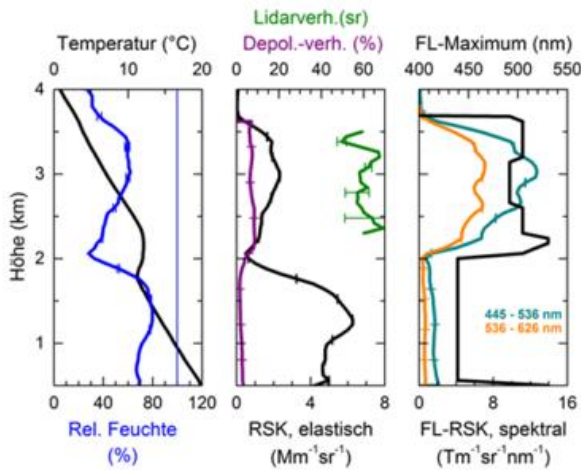


Abbildung 2: Aerosolmessung am 9. September 2016 um 21 Uhr (UTC). Relative Feuchte und Temperatur (Radiosonde), elastischer Rückstreuungskoeffizient (RSK), Depolarisations- und Lidarverhältnis bei 355 nm und spektraler Fluoreszenz-Rückstreuungskoeffizient (gemittelt über zwei verschiedene Spektralbereiche) sowie spektrale Lage des Fluoreszenzmaximums. Für die Profilauswertung wurden die Daten über 20 min integriert, horizontale Balken geben den statistischen Messfehler wieder.

Abbildung 2 verdeutlicht, wie unterschiedlich sich Aerosole hinsichtlich ihrer elastischen optischen Eigenschaften (also die herkömmlichen Lidarmessgrößen Rückstreuungskoeffizient, Depolarisations- und Lidarverhältnis) und ihrer Fluoreszenzcharakteristika erweisen. Am 9. September um 21 Uhr betrug die relative Feuchte in den unteren 4 km maximal 80%. Während die Grenzschichtaerosole unterhalb 2 km einen signifikanten elastischen Rückstreuungskoeffizienten, aber geringes Fluoreszenzvermögen aufweisen, liegt in der darüber liegenden Aerosolschicht ein anderer Sachverhalt vor: Starke Fluoreszenz bei gleichzeitig deutlich geringerer elastischer Rückstreuung. Auch liegt hier das spektrale Maximum bei längeren Wellenlängen, was Unterschiede im Aerosoltyp nahelegt. Die spektral aufgelöste Fluoreszenzmessung erlaubt eine grobe direkte Stoffklassifizierung, was für die Herkunftsbestimmung von Vorteil ist. Außerdem ist festzuhalten, dass sich optisch dünne Aerosolschichten häufig nur durch ihre Fluoreszenz, die ein sehr starker optischer Streuprozess ist, offenbaren. So befindet sich das erwähnte Aerosolfilament bei der elastischen Rückstreuung an der Nachweisgrenze von RAMSES, in den Daten der Ceilometer des DWD-Messnetzwerks ist es nicht zu entdecken.

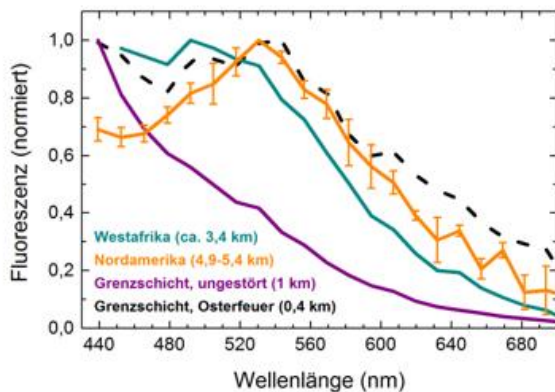


Abbildung 3: Normierte Aerosol-Fluoreszenzspektren mit Höhen- und Herkunftsangabe. Das nordamerikanische Brandaerosol lag in der über den gesamten in Abb. 1 wiedergegebenen Beobachtungszeitraum messbaren Schicht oberhalb 4,5 km vor, drei Spektren vom 6. bis zum 8. September wurden gemittelt. Das Spektrum des westafrikanischen Brandaerosols stammt von der in Abb. 2 im Profil gezeigten Messung. Zum Vergleich sind außerdem Spektren von Grenzschichtaerosolen dargestellt, die unter ungestörten Bedingungen (8. September 2016) bzw. während der traditionellen Osterfeuer am 26. März 2016 gemessen wurden.

2016) bzw. während der traditionellen Osterfeuer am 26. März 2016 gemessen wurden.

Anhand Abb. 3 können mehrere Feststellungen getroffen werden. Erstens unterscheidet sich das Fluoreszenzspektrum für eine ungestörte Grenzschicht signifikant von den anderen Spektren. Zweitens zeigt das Aerosolfilament, welches nach FLEXPART-Simulationen aus dem nördlichen Nordamerika stammt, über Tage hinweg eine große spektrale Unveränderlichkeit und stimmt, drittens, oberhalb 510 nm sehr gut mit dem des Osterfeueraerosols überein, was den Schluss zulässt, dass es sich hierbei um Brandaerosol handeln sollte. Im Gegensatz hierzu ist, viertens, die Fluoreszenz des aus Westafrika stammenden Aerosols klar zu kürzeren Wellenlängen verschoben, weist aber ansonsten einen ähnlichen spektralen Verlauf auf, der sein Maximum wellenlängengleich mit dem Sekundärmaximum des Osterfeueraerosols einnimmt. Die Vermutung liegt daher nahe, dass auch hier Brandaerosol gemessen wurde, wohl aber mit anderer Zusammensetzung als im Filament.