

# Masterarbeit im Bereich Klima- und Umweltwissenschaften

## Thema: UAS-Datenanalyse für die Turbulenzabschätzung

### Hintergrund

Im Zuge meiner Masterarbeit habe ich Messungen mit *Unmanned Aerial Systems* (UAS, ferngesteuerte Starrflügler) durchgeführt. Anlass für die Fragestellungen waren die vertikalen Versatzdaten von GPS-Einheiten in m/s, die während eines „Sandwich-Fluges“ von 2 übereinander kreisenden Drohnen aufgezeichnet wurden (vgl. Fig. 5)

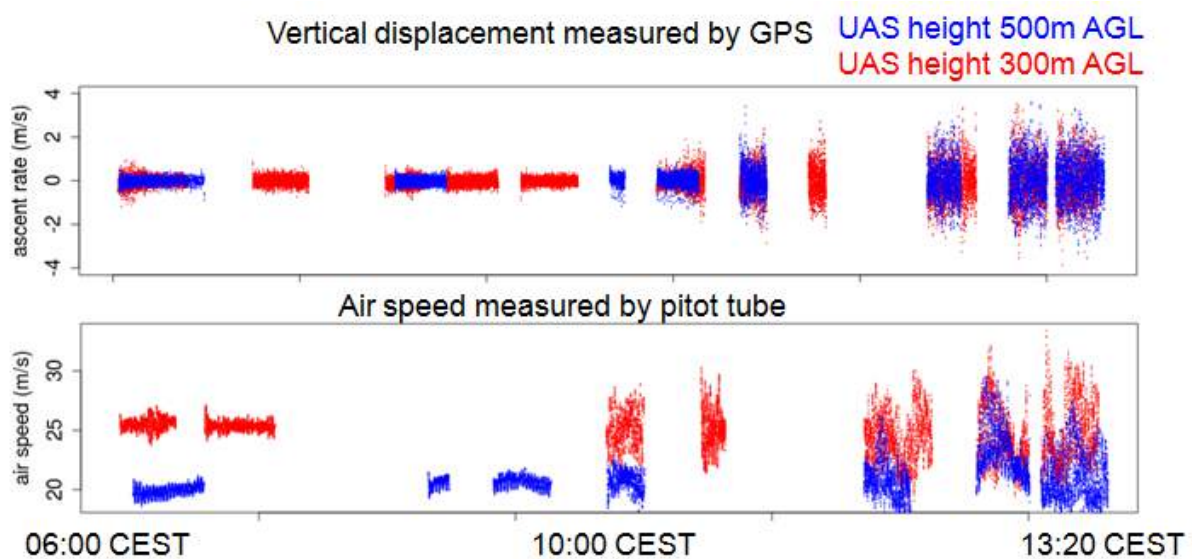


Fig. 5 Flight path, time-height diagram and vertical profiles of two UAVs flying at 300 and 500 m above ground level respectively (upper panel). Height and Air speed recorded by the lower UAV in red and the upper UAV in blue. During the morning the displacement rates and high frequency air speed variability increases according to increasing turbulence first at the lower level, later also in the upper level.

Bei der UAS-Datenanalyse geht es konkret darum, die während verschiedener Flüge aufgezeichneten Daten des Flugschreibers (z.B. Beschleunigungswerte einer *Inertial Measurement Unit* in X, Y, oder Z-Richtung, GPS, Gyroskope) statistisch zu bearbeiten und auszuwerten. Im Vergleich mit anderen aufgezeichneten Sensordaten wie *Windgeschwindigkeit*, *Luftdruck* oder *Temperatur* soll abgeschätzt werden, ob Turbulenzen aufgetreten sind oder nicht.

## Angewandte Methodik

Die angewandte Methodik basiert auf dem Prinzip der *Hochpassfilterung*. Dabei werden lediglich die hochfrequenten Anteile, die ein Sensor mit einer bestimmten Frequenz aufzeichnet, durchgelassen.

Prinzip (vgl. Abbildung 1):

Die Ausgangsdaten werden mit einem Tiefpassfilter (hier: Gaußfilter, grün markiert) geglättet. Die dabei ermittelten Werte (rote Kurve) werden im Anschluss von den Ausgangsdaten subtrahiert. Das Ergebnis sind hochpassgefilterte Daten (blau markiert).

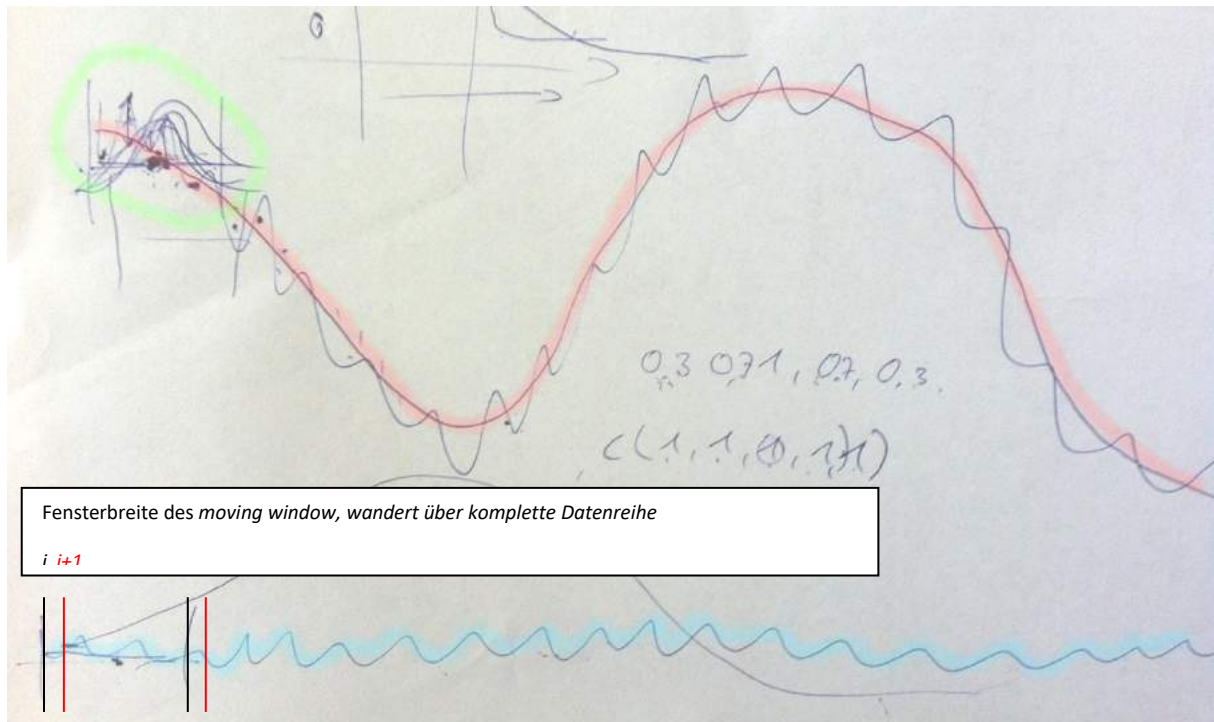


Abbildung 1: Prinzip der Hochpassfilterung

Folgender Thread befasst sich mit dem Prinzip dieser Vorgehensweise, verwendet aber keinen Gaußfilter:

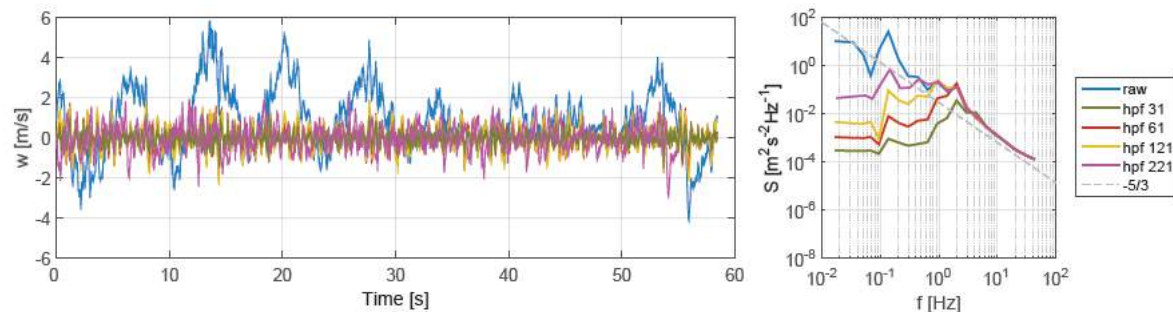
<http://stackoverflow.com/questions/7105962/how-do-i-run-a-high-pass-or-low-pass-filter-on-data-points-in-r>

Um die hochpassgefilterten Daten als Maß für die Intensität der Turbulenz heranziehen zu können, soll ein *moving window* über hochpassgefilterte Datenreihe laufen. Die Breite des Fensters ist abhängig von der Frequenz des betrachteten Sensors, z.B. 5 sek (vgl. Abb. 1). Für dieses Zeitfenster soll der **Mittelwert** und die **Standardabweichung** berechnet werden. Im Anschluss wandert dieses Fenster um eine Zeile des Datensatzes von  $i$  nach  $i+1$  usw. – bis zum Ende des Datensatzes. Das Ergebnis wäre pro Zeitfenster ein Mittelwert mit dazugehöriger Standardabweichung, was in einer Grafik dargestellt werden soll. Eine hohe Standardabweichung ist unter Berücksichtigung der vorherrschenden meteorologischen Parameter ein Maß für die Turbulenz.

## Umsetzung in R

Meine Aufgabe besteht darin, die angewandte Methodik in ein R-Skript zu schreiben:

1. Selektion einer Spalte (z.B. Beschleunigung in Z-Richtung: *accz*) aus dem Datensatz (.tab-Datei)
2. mit dem Gaußfilter: *smth.gaussian* (R-package: *smoother*) soll die selektierte Datenreihe tiefpass-gefiltert werden. Die dabei ermittelten Werte werden danach von den Ausgangswerten subtrahiert → Ergebnis: hochpassgefilterte Werte
  - a. Die in der Funktion *smth.gaussian* verwendeten Argumente *alpha* und *window* sollen angepasst werden  
<<https://cran.r-project.org/web/packages/smoother/smoother.pdf>>
  - b. Welche Einstellungen sind die richtigen?  
Zunächst Ausgangsdaten in ein Diagramm (x-Achse: Zeit, y-Achse: Sensorwert) plotten und darüber die gefilterten Daten (mit unterschiedlichen Parametereinstellungen) legen → Welche Parameter liefern das beste Ergebnis (vgl. Fig. 7: Baserud et al. 2016, S. 9 f.)



**Figure 7.** Example of time series (left panel) and energy spectra (right panel) of the  $w$  component from leg 2 of flight # 30 from SUMO. With unfiltered values in blue, and the four high-pass filtered (hpf) versions of  $w$  in green (running average window of 0.31 s), red (running average window of 0.61 s), yellow (running average window of 1.21 s), and magenta (running average window of 2.21 s). The  $-5/3$  line (dashed gray) indicate the inertial subrange of the spectra.

3. Festlegung der passenden Parameterwerte von *alpha* und *window*
4. Letzter Schritt: die hochpassgefilterten Daten sollen mit einem *moving window* (vgl. Abb. 1) bearbeitet werden. Dafür muss zunächst die Breite des „Fensters“ in Sekunden festgelegt werden (abhängig von Aufzeichnungsfrequenz des Sensors).
  - a. Verwendeter *Autopilot* mit integrierter Sensorik (*Inertial Measurement Unit*) unter: <<https://wiki.paparazziuav.org/wiki/Apogee/v1.00>>
  - b. Erstellung einer Grafik mit Mittelwert und Standardabweichung
  - c. Erstellung von Tabellen, welche die dafür verwendeten Daten enthalten