

Kalibrierungsleitfaden der 5-Hole-Probe

Alexander Bütow

9. Dezember 2018

1 Allgemeines

Die **vollständige dynamische Kalibrierung** der 5-Hole-Probe (5HP) im Flug sollte idealerweise unter folgenden Umständen durchgeführt werden:

- einmal jährlich (zur Validierung und ggf. Kompensation möglicher altersbedingter Änderungen der Linearität der Drucksensoren)
- nach größeren, mechanischen Eingriffen an den Drucksensoren, der 5HP, IMU oder Druckschläuchen (Aus- und Einbau, Sensortausch)

Wichtig sind ebenfalls die meteorologischen Voraussetzungen. **Die Kalibrierung beruht auf den Annahmen eines zeitlich wie lokal stationären Horizontalwindfeldes, sowie des statischen Drucks und eine im Mittel verschwindene Vertikalgeschwindigkeit des Windes.** Daraus ergibt sich, dass das Kalibrierungsprogramm z.B. an der unmittelbaren Vorderseite einer sich nähernden Kaltfront bzw. Tiefdruckgebietes, inmitten einer synoptisch- oder mesoskaligen Konvergenzlinie, sowie eines kräftigen Hochs, möglichst nicht ausgeführt werden sollte.

Meteorologische Voraussetzungen:

- stabiles Wetter (hinsichtlich Drucktendenz, Windrichtung und -geschwindigkeit)
- möglichst geringe vertikale Windgeschwindigkeit auf synoptischer Skala
- Flug über planetarischer Grenzschicht möglich

Darüber hinaus sind **vor** und (optional) nach jedem Flug die Offsetwerte der Drucksensoren zu bestimmen. Das Verfahren wird im Folgenden erläutert und ist mit dieser Box gekennzeichnet.

2 Vor und nach jedem Flug: Offsetwerte für Drucksensoren bestimmen

Vor dem Flug:

- Sicherstellen, dass rote Schutzkappe auf der 5HP montiert ist
- Zuschalten einer externen Spannungsquelle ans Flugzeug
- Spannungsversorgung des Wingpods zuschalten
- Logger für Drucksensoren starten (starten normalerweise automatisch nach anliegender Versorgungsspannung des Wingpods)
- 15 bis 20 min als Warmup-Zeit vergehen lassen

Die Druckmesswerte driften in ihre Nulllage; diese können im Postprocessing abgelesen werden.

(Nach dem Flug (Motor ist abgeschaltet)):

- rote Schutzkappe aufsetzen
- Spannungsversorgung wiederherstellen (siehe oben)
- 5 min vergehen lassen

Erneut können die Messwerte im Postprocessing abgelesen werden. Die Werte nach dem Flug dienen zur Validierung.

3 Bestimmung des statischen Druckdefekts

Bei diesem Manöver wird die Fluggeschwindigkeit im Horizontalflug variiert.

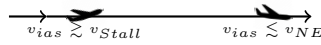


Abbildung 1: Variation der angezeigten Fluggeschwindigkeit v_{ias} (Seitenansicht).

- über die turbulente Grenzschicht aufsteigen bzw. sicherstellen, dass keine Turbulenz spürbar ist
- Horizontalflug einnehmen
- Flughöhe fortwährend konstant halten
- angezeigte Fluggeschwindigkeit v_{ias} mit Hilfe der Motorleistung langsam zwischen Strömungsabrissgeschwindigkeit v_{Stall} und Höchstgeschwindigkeit¹ variieren
- Wiederholungen: 5 bis 10

4 Kalibrierung des Anstellwinkels

Bei diesem Manöver geht es darum, den Anstellwinkel² (α , *Pitch*) dynamisch durch wechselnde Flächenbelastungen zu alternieren.

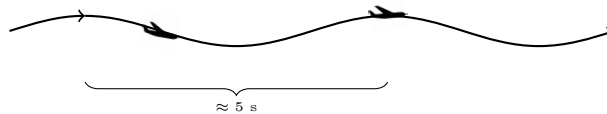


Abbildung 2: Oszillation des Anstellwinkels α (Seitenansicht).

- über die turbulente Grenzschicht aufsteigen bzw. sicherstellen, dass keine Turbulenz spürbar ist
- kurz Horizontalflug einnehmen
- Ausführen möglichst sinusförmiger Oszillationen um die Querachse ($\pm 10^\circ$), Periodendauer ca. 5 s oder kürzer
- Wiederholungen: 10 bis 20

¹Höchstgeschwindigkeit, die mit Motorbetrieb im Horizontalflug erreichbar ist, ansonsten nahe v_{NE} .

²Der Anstellwinkel bezieht sich auf die Anströmung, nicht auf den Horizont (θ , *Attitude*).

5 Kalibrierung des Gierwinkels

Ähnlich wie im vorherigen Manöver, stattdessen wird der Gierwinkel alterniert.

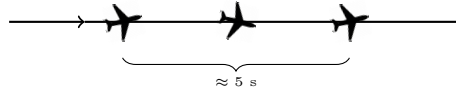


Abbildung 3: Oszillation des Gierwinkels β (Draufsicht).

- über die turbulente Grenzschicht aufsteigen bzw. sicherstellen, dass keine Turbulenz spürbar ist
- kurz Horizontalflug einnehmen
- Ausführen möglichst sinusförmiger Oszillationen um die Gierachse ($\pm 10^\circ$), Periodendauer ca. 5 s
- Flügel horizontal halten (Quer- und Seitenruder kreuzen)
- Wiederholungen: 10 bis 20

6 Bestimmung der Offsetwinkel α_0 und β_0 und Validierung des statischen Druckdefekts

Bei diesem Manöver wird ein *Heading* in wechselnder Richtung (*Reverse-Heading-Maneuver*) oder alternativ ein Vierecks (parallel zu Haupthimmelsrichtungen) abgeflogen.

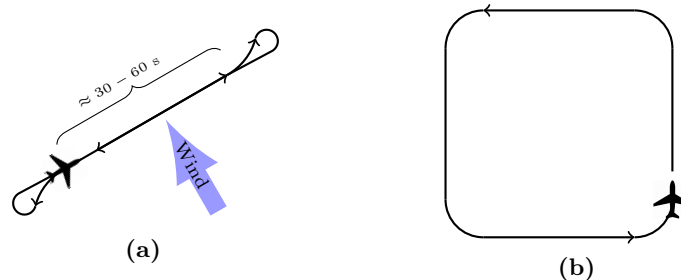


Abbildung 4: Abwechselndes Fliegen eines Headings (a) oder eines Vierecks (b).

- über die turbulente Grenzschicht aufsteigen (Alternativ: tiefer Flug über Grund, sofern Grundsichtkonvektion noch nicht stark entwickelt ist)
- Höhe und Geschwindigkeit fortwährend halten
- *Heading* parallel zur Windrichtung (Alternativ: 0° , 90° , 180° oder 270°) ausrichten
- *Heading* 30 bis 60 s halten
- 180° -Wende durchführen bzw. 90° beim Abfliegen eines Vierecks
- neues *Heading* für die gleiche gewählte Zeit des vorherigen Abschnitts halten
- 180° -Wende durchführen bzw. 90°
- Wiederholungen: 5 bis 10

Am besten werden die Manöver nicht an ortsgebunden Wendepunkten festgemacht, d.h. der horizontale Windversatz des Flugzeugs während der Durchführung ist sogar **erwünscht**, da es sich so immer in der gleichen Luftmasse bewegt. Es reicht also aus, nach Uhr und Kompass zu fliegen.