

Einsatz eines UAS zur kleinräumigen Erhebung meteorologischer Parameter der atmosphärischen Grenzschicht

Dr. Gilbert Kattenborn¹, Teja Kattenborn², Annika Rohde³

Die Fernerkundung besetzt seit langem eine bedeutende Rolle in Umweltbeobachtung und Ressourcenmanagement. Durch Miniaturisierung und Robotik verschmelzen in der Entwicklung von Drohnen Aufnahmeplattform und Payload in autonome, fliegende Sensoren. Mit intelligenten Systemkomponenten und Softwarelösungen werden so innovative, kostengünstige Geoinformationssysteme hoher Flexibilität zur Verfügung gestellt. Aufgrund dieser Eigenschaften spielen Drohnen eine verstärkte Rolle bei der Inventur und Begutachtung an landwirtschaftlichen Kulturen und Waldflächen oder ermöglichen Wissenschaftlern wie Wildbiologen, Geologen oder Archäologen wichtige Erkenntnisse. Weil eine Drohne kaum Schadstoffemissionen oder Lärm erzeugt, eignet sie sich zudem für Aufnahmen in sensiblen Bereichen wie Naturschutzgebieten. In Ergänzung genannter Anwendungen stellt die Arbeit eine Machbarkeitsstudie für den Einsatz eines Oktokopters zur Datenerhebung von meteorologischen Größen dar. Es wird untersucht, ob es technisch möglich ist mit einem UAV meteorologische Parameter der Prandtl-Schicht flexibel und verlässlich zu messen

Die Atmosphärische Grenzschicht ist der untere Teil der Atmosphäre, der an die Erdoberfläche grenzt. Je nach Wind- und Temperaturverhältnissen erstreckt diese sich zwischen 500 bis 2000 m (durchschnittlich 1000 m). Die Topographie und die Rauigkeit der Erdoberfläche beeinflussen die Dicke der Schicht. Sie hat über den Meeren die kleinste und über Gebirgen die größte Mächtigkeit. Der untere Teil, ca. 10 % (100 m), wird als Prandtl-Schicht bezeichnet, die darüber liegende Schicht Ekman-Schicht (Drehungsschicht).

Der gesamte Vertikalaustausch zwischen fester bzw. flüssiger Erdoberfläche und der Atmosphäre findet in dieser Grenzschicht statt. Die genannten Schichten unterscheiden sich durch ausgeprägte räumliche und zeitliche Änderungen ihrer meteorologischen Parameter, die durch die unterschiedlich starke Beeinflussung der Atmosphäre durch die Erdoberfläche zustande kommen wie anhand von Lufttemperatur (T), Windrichtung (ϕ), Windgeschwindigkeit (U) in Abbildung 1 dargestellt.

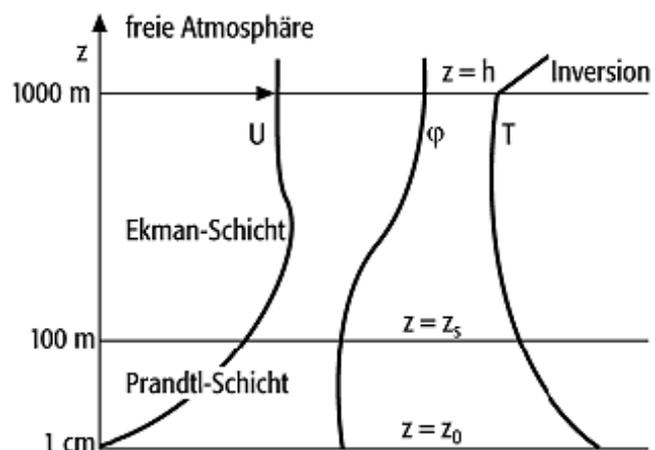


Abb. 1: Schematische Darstellung des Verlaufs von Lufttemperatur (T), Windrichtung (ϕ), Windgeschwindigkeit (U) in Ekman- und Prandtl-Schicht der Atmosphäre.

¹ GEOCOPTER® (www.geocopter.de)

² GEOCOPTER® (www.geocopter.de) / Universität Freiburg, Professur für Fernerkundung und Landschaftsinformationssysteme FeLis

³ Universität Freiburg, Fakultät für Umweltwissenschaften und natürliche Ressourcen

Konventionelle Möglichkeiten zur Bestimmung von Vertikalprofilen von Meteodaten im Bereich der „Prandtl Schicht“ der Troposphäre beschränken sich auf punktuelle Messungen mit Hilfe von Messtürmen, dem nicht aktiv kontrollierbaren Aufstieg von Radiosonden oder der Erfassung mit Hilfe von Messflugzeugen bzw. Helikoptern, welche aber eine Mindestflughöhe einzuhalten haben und deren Einsatz kostenintensiv ist. Die Verwendung eines Multikopters im langsamen Auf- und Abstieg oder auch Schwebflug für derartige Messungen stellt eine kostengünstige Alternative dar, welche zudem die Defizite konventioneller Messmethoden ausgleicht und dabei Bereiche abdecken kann, die bislang kaum erreichbar waren. Drohnen bieten den Vorteil, dass diese mit entsprechender Sensorik schnelle, zeitnahe und auch flächendeckende Datensammlung über große Bereiche ermöglichen.

Im Allgemeinen ist entsprechend der gesetzlichen Regelungen der Betrieb eines UAS bis zu einer Höhe von 150 m über Grund möglich. Damit sind UAS für Messungen im Bereich der Prandtl-Schicht optimal geeignet und bieten im Gegensatz zu herkömmlichen Messungen mit Messtürmen oder Radiosonden zusätzlich Flexibilität und Mobilität.

Planung und Durchführung

Die meteorologischen Größen Lufttemperatur und Luftfeuchte sollen in der Prandtl-Schicht der Atmosphärischen Grenzschicht gemessen werden. Eingesetzt wird ein Oktokopter der die für die Studie erforderlichen Flugmanöver erlaubt. Ein Datalogger der Marke Velleman (Modell: DVM171THD) wurde an den Oktokopter (Abb. 2) montiert. Er erfasst die Uhrzeit die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchte und errechnet zeitgleich den zu den Werten zugehörigen Taupunkt (siehe Tab. 1).

relative Feuchte (RH)	allgemeiner Bereich 0 % ~ 100 %	
Genauigkeit der relativen Feuchte	0 ~ 20 %	±5,0 %
	20 ~ 40 %	±3,5 %
	40 ~ 60 %	±3,0 %
	60 ~ 80 %	±3,5 %
	80 ~ 100 %	±5,0 %
Temperatur	allgemeiner Bereich -40°C ~ +70°C (-40°F ~ +158°F)	
Genauigkeit Temperatur	-40 ~ -10°C (-10~+40°F)	±2°C (±3,6°F)
	-10 ~ +40°C (+14~+104°F)	±1°C (±1,8°F)
	+40 ~ +70°C (+104~+158°F)	±2°C (±3,6°F)
Temperatur Taupunkt	allgemeiner Bereich -40°C ~ +70°C (-40°F ~ +158°F)	
Genauigkeit Taupunkt	25°C, 40 ~ 100 % RH	±2,0°C (±4,0°F)
Erfassungsgeschwindigkeit	einstellbar, 2 sec. ~ 24 Stunden	

Tabelle 1: Technische Spezifikationen des zur Temperatur- und Luftfeuchtemessung verwendeten Dataloggers DVM171THD.

Aus den Telemetriedaten des Kopters können für das Experiment Flugzeit, barometrischer Luftdruck und Höhe über Grund extrahiert werden. In der Studie erfolgte die Erfassung der Telemetriedaten im Sekundenintervall, die Datenerfassung des Dataloggers im 2-Sekundenintervall. Anhand der Zeitaufzeichnung können die Telemetriedaten der Drohne und die Daten des Loggers exakt synchronisiert werden.



Abbildung 2: Verwendeter Datalogger und Oktokopter

Der Messflug fand am Dienstag den 24. September auf einer Grasfläche vor dem Mundenhofgelände in Freiburg statt (Geographische Lage: $48^{\circ}1'0''N$ $7^{\circ}46'37''O$, 220 m ü NN). Umgeben ist die Grasfläche von einem Maisfeld und mehreren Baumgruppen.



Abbildung 3: Testgelände beim Mundenhof, Freiburg

Die Messungen wurden ab 14 Uhr MESZ gemacht. Es gab nur geringe Bewölkung (1/8). Nur einzelne Kondensstreifen und Cirren waren am Himmel zu sehen (Siehe Abb. 3). Ein abgeschattetes externes Messgerät direkt auf dem Grasboden diente zur Plausibilitätsprüfung und lieferte folgende meteorologische Daten parallel zur Befliegung: 14:00 Uhr: Lufttemperatur: 19°C, relative Luftfeuchtigkeit: 82%, 14:18 Uhr: Lufttemperatur: 20°C, relative Luftfeuchtigkeit: 82%

Der Datalogger mit den Sensoren wurde abgeschattet unter einer Halterung am Oktokopter montiert, um bei der Messung der Lufttemperatur den Einfluss direkter Sonneneinstrahlung zu vermeiden. Im Experiment erfolgte der Aufstieg der Drohne bis zur Höhe von 130 m über Grund in 10 Minuten der Abstieg in 5 Minuten.

Auswertung und Ergebnisse:

Die Messwerte des Dataloggers werden über USB-Schnittstelle mit der Herstellersoftware ausgelesen. Die Telemetriedaten werden in der Drohne auf einer Mikro-SD-Karte im Sekundenintervall gespeichert. Beide Datensätze können mit Tabellenkalkulations- oder statistischer Software ausgewertet werden.

Die Messdaten zeigen einen deutlichen Temperaturgradienten. Der Datalogger erfasste eine Temperaturdifferenz von 1.9° C. Der höchste gemessene Wert beträgt 21.7°C und der niedrigste Wert gemessen in Gipfelhöhe ist 19.8° C. Dies entspricht einer typischen Temperaturabnahme in der Prandtl-Schicht bzw. der bodennahen Atmosphäre. Für die vorherrschenden äußeren Bedingungen waren keine Abnormitäten zu erwarten, wie es bei einer ausgeprägten bodennahen Inversion o.ä. der Fall gewesen wäre.

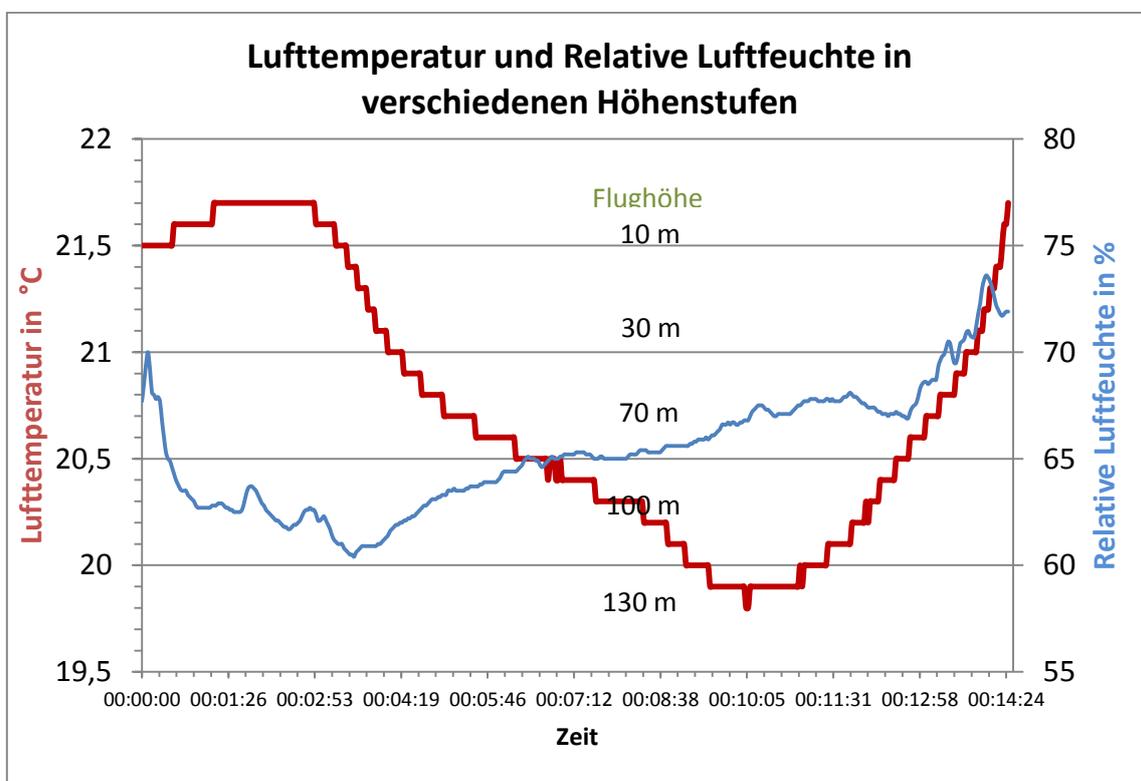


Abbildung 4: Profile von Lufttemperatur und relativer Luftfeuchte von 0 bis 130 m Höhe über Grund am 24.09.2013 gemessen zwischen 14.00 h und 14.15 h beim Mundenhof, Freiburg.

Schlussfolgerung/Diskussion/Ausblick/(Machbarkeits-)Studie:

Das Experiment hat gezeigt, dass sehr genaue und kontrollierte meteorologische Messungen im Bereich der bodennahen Atmosphäre mit Einsatz von Drohnen möglich sind. Die eingesetzte Sensorik kann beliebig gewählt werden und verschiedensten Erfordernissen (z.B. Lufttemperatur, Luftdruck, Luftfeuchte, Gaskonzentrationen, Aerosolgehalt) angepasst werden. Ebenso können die Messungen beliebig wiederholt werden z.B. um Zeitreihen zu erstellen oder größere Areale zu charakterisieren. Damit hat sich der verwendete Oktokopter als hochflexible Plattform erwiesen.

Bei derartigen Messungen sind gegebenenfalls Störfaktoren zu beachten. Zum Beispiel müsste bei Windmessungen der Luftstrom der Propeller zuverlässig abgeschirmt werden ebenso wie direkte Sonneneinstrahlung zur Erhebung der Temperaturwerte im Experiment abgeschattet wurde. Plattformbezogen können sich Vibrationen der Elektromotoren auf die eingesetzte Sensorik übertragen. Eine Minimierung dieser Einflüsse wurde durch Gell-Lagerung der Haltevorrichtung im Versuch ausgeschlossen. Für andere Messgeräte ist die Anbringung einer abständigen Gondelaufhängung in Vorbereitung. Darüber hinaus kann die eingesetzte Technik zur Datenaufzeichnung kann für zeitkritische Anwendungen zu webbasierten Diensten erweitern werden.