

LEX 2016: Bestimmung der Wolkenhöhe mittels Pyrgeometer

Lukas Kluft, Timorsha Rafiq-Dost
lukas.kluft@gmail.com, timorsha@live.de

Zusammenfassung—Pyrgeometer messen die aus dem Halbraum eintreffende atmosphärische Gegenstrahlung ($5\text{--}50\text{ }\mu\text{m}$). Die Stärke der Gegenstrahlung hängt vom Zustand der Atmosphäre ab; bei Bewölkung ist diese deutlich stärker als bei wolkenfreien Verhältnissen. Zusätzlich hängt die Emission von der Temperatur ab; warme Körper strahlen stärker als kalte. Diese beiden Effekte ermöglichen es über die atmosphärische Gegenstrahlung Rückschlüsse auf die Temperatur der Wolkenunterkante zu ziehen. Mit Hilfe zusätzlicher Annahmen über das Temperaturprofil kann so die Höhe der Wolkenunterkante abgeschätzt werden.

1 GRUNDLAGEN

Das Wasser in Wolken absorbiert terrestrische Strahlung sehr stark. Dadurch verändern Wolken die optische Dicke und damit die Wichtungsfunktion gegenüber dem wolkenlosen Fall. Die Wichtung von Höhen überhalb der Wolken wird geschwächt, die der Wolkenschicht erhöht. Durch die generelle Abnahme der Temperatur mit der Höhe erhöht sich durch das Vorhandensein von Wolken die am Boden ankommende terrestrische Strahlung. Je tiefer die Wolke, desto stärker der Anstieg der Strahlung gegenüber dem wolkenlosen Fall. Zusätzlich hängt die Emission von der Temperatur ab, warme Körper strahlen stärker als kalte. Diese beiden Effekte ermöglichen es über die atmosphärische Gegenstrahlung Rückschlüsse auf die Temperatur der Wolkenunterkante zu ziehen. Mithilfe zusätzlicher Annahmen über das Temperaturprofil kann so die Höhe der Wolkenunterkante abgeschätzt werden.

2 MOTIVATION

Wolken gehören zu den variabelsten und inhomogensten Bestandteilen der Atmosphäre. Sie decken einen Größenbereich von einigen Metern, wie z.B. Cumuluswolken, bis zu mehreren hundert Kilometern (Frontensysteme) ab. Zudem erstreckt sich auch die zeitliche Variabilität über mehrere Größenordnungen. Von flachen Schönwettercumulus, dessen Lebenszeit mehrere Stunden beträgt, bis zu mehreren Tagen bestehende Stratuswolken.

Die Existenz, Häufigkeit und die Art von Wolken im Allgemeinen sowie die Wolkenhöhe im Speziellen spielen eine eminent große Rolle für das Wetter und Klima. Neben Niederschlagsprozessen beeinflussen sie auch die Strahlungsbilanz der Erde. Die auf die Erde einfallende Solarstrahlung wird über Wolken und Atmosphäre teilweise in das Weltall zurückgeworfen, weshalb einige Wolkentypen zu Abkühlung des Planeten tendieren. Die abgegebene terrestrische Strahlung vom Erdboden, welche in Richtung Himmel gerichtet ist, wird von Wolken absorbiert. Die dadurch bereitgestellte Energie kann genutzt werden, um langwellige Strahlung

in Richtung Erdoberfläche zu emittieren. Wolken haben dementsprechend auch einen erwärmenden Effekt auf die Erde und sind ausschlaggebend für den Treibhauseffekt [IPCC, 2013]. Ob eine Wolke erwärmend oder abkühlend auf die Atmosphäre wirkt hängt entscheidend von der Albedo, optischen Dicke und der thermischen Ausstrahlung, also der Wolkenhöhe ab.

Außerdem hat die Wolkenunterkante auch praktische Bedeutung, wie zum Beispiel in der Luftfahrtberatung. Bei Sichtflugbedingungen etwa darf eine gewisse Wolkenuntergrenze nicht unterschritten werden.

Hinsichtlich der Wichtigkeit der Wolkenhöhe wurden im Rahmen der Lehrexkursion (LEX) auf Fehmarn Strahlungsmessungen mit einem Pyrgeometer durchgeführt. Pyrgeometer messen dabei die aus dem Halbraum eintreffende atmosphärische Gegenstrahlung in einem Wellenlängenbereich zwischen $4,5\text{ }\mu\text{m}$ und $45\text{ }\mu\text{m}$. Die Grundidee und Motivation dieses Versuches liegt darin, das Leistungspotenzial und die Fähigkeiten eines einfachen Messinstruments wie einem Pyrgeometer zu testen. Die langwellige Einstrahlung und die Temperatur, welche mittels Pyrgeometer beziehungsweise einem Thermometer ermittelt werden, sind jene Messgrößen, die für diesen speziellen Versuch von Bedeutung sind. Es soll geklärt werden, inwiefern und mit welcher Genauigkeit es möglich ist atmosphärische Zustandsgrößen aus diesen einfachen Messgrößen abzuleiten.

Im Folgenden werden dafür zunächst der zugrunde liegende Messaufbau in Abschnitt 2 vorgestellt. Abschnitt 3 erläutert den über die Messperiode gewonnen Datensatz. Darauf folgend werden in Abschnitt 4 die Ergebnisse des Projekts präsentiert. Die Konzentration liegt einerseits in der Ermittlung der Wolkenbasishöhe mittels der langwelligen Einstrahlung. Da die langwellige Einstrahlung zudem vom Wasserdampfgehalt der Atmosphäre abhängig ist, können die wolkenlosen Tage dazu genutzt werden um die Wasserdampfsäule zu bestimmen. Abschließend folgen in Abschnitt 5 ein Fazit und ein kurzer Ausblick.

3 MESSAUFBAU

Für die Messung der Strahlung wurde eine Strahlungsstation (Strahlungsgarten) auf einer Wiese installiert. Der genauere Messaufbau des Strahlungsgartens kann der Abbildung entnommen werden (Foto). Auf der Wiese wird die Einstrahlung mit je zwei nach oben gerichteten Strahlungssensoren und die Ausstrahlung mit je zwei nach unten gerichteten Strahlungssensoren von EIGEN-BRODT gemessen. Für die langwellige Strahlung aus dem oberen und unteren Halbraum werden Pyrgeometer und für die kurzwellige Strahlung Pyranometer verwendet. Die Instrumente befinden sich etwa einen Meter über der Erdoberfläche. (Zusätzlich dazu wurde in unmittelbarer Nähe ein Schattenring aufgestellt, welcher mittels GPS genordet worden ist.) Die exakten geographischen Positionen des Schattenringes sowie des Strahlungsgartens kann der Tabelle entnommen werden.

Zusätzlich wurden ein Ceilometer von VAISALA und das Mikrowellenradiometer HATPRO als Referenz genutzt, um Ergebnisse mit dem Pyrgeometer vergleichen zu können. Das Ceilometer und Radiometer sind ebenfalls auf der Wiese in unmittelbarer Nähe zum Strahlungsgarten betrieben wurden. Das Ceilometer sendet Laserimpulse aus und detektiert das aus der Atmosphäre zurückgestreute Licht. Wolken und Staubpartikel streuen das Laserlicht. Aus der Laufzeit der Signale und Lichtgeschwindigkeit wird die Entfernung zum Ort der Streuung berechnet. Eine einfache Anwendung ist daher die hochauflösende Entfernungsmessung von Wolkenunterkanten. Das HATPRO misst die thermische Ausstrahlung der Atmosphäre. Durch eine entsprechende Auswahl der Empfangsfrequenzen kann die Emission von Mikrowellenstrahlung bestimmter Spurengase, von Flüssigwasser sowie von Eiskristallen empfangen werden. So befindet sich beispielsweise bei Frequenzen von 20 bis 30 GHz ein starkes Absorptionsband von Wasserdampf. Messungen der Strahlungstemperatur an der Flanke dieses Absorptionsbandes erlaubt Abschätzungen zum Gesamtwasserdampfgehalt (Integrated Water Vapour IWV). Die aufgenommenen Wolkenbasishöhen und der IWV vom Ceilometer bzw. HATPRO dienen im folgenden als Referenzdaten.

Das Messgelände ist zudem gekennzeichnet durch diverse Besonderheiten: In südlicher Richtung vom Messaufbau befindet sich ein Funkturm. Außerdem befindet sich der Aufbau in direkter Küstennähe. Bei tiefstehender Sonne kann es zu Einfluss durch Reflexionen auf der Wasseroberfläche kommen. Der Einfluss auf die Messung ist jedoch wahrscheinlich gering, da die verwendeten Instrumente nah am Horizont nicht sensitiv sind.

4 DATENSATZ

Die Lehrexkursion fand in dem Zeitraum vom 29. August bis 9. September 2016 statt. Jedoch stehen die Daten nicht für die komplette Periode zur Verfügung. Der letzte Tag wurden genutzt um die Geräte abzubauen, daher

können ausschließlich die Daten vom 19.08. - 07.09.2016 berücksichtigt werden. Es ist darauf hinzuweisen, dass ein 15-minütiger Stromausfall am 01.09.2016 von 14.20 UTC bis 14.35 UTC dafür gesorgt hatte, dass auch hier keine Daten verfügbar sind.

Die Messungen des Pyrgeometers und Ceilometers sind resistent gegenüber Wettereinwirkungen wie Regen, sodass permanent verwertbare Daten von der atmosphärischen Gegenstrahlung bzw. Wolkenunterkantenhöhe geliefert werden (Mittelung erwähnen) konnten. Beide Geräte liefern Daten in einminütiger Auflösung. Die Messungen des Radiometers liegen in zehnminütiger Auflösung vor. Beim HATPRO gibt es allerdings Einschränkungen, sobald es regnet; während Regen-Events sind die IWV-Messdaten unbrauchbar.

5 STRAHLUNGSTRANSFER

Pyrgeometer messen den gesamten Strahlungsfluss im langwelligen Frequenzspektrum zwischen 3 THz und 60 THz. Um genauere Informationen darüber zu gewinnen, aus welchen Teilen der Atmosphäre die gemessene Strahlung stammt, wurden Strahlungstransferrechnungen durchgeführt.

Für die Berechnung wurde der Atmospheric Radiative Transfer Simulator (ARTS) verwendet [?]. ARTS ist ein physikalisches Strahlungstransfermodell für den Millimeter- und Submillimeterbereich des elektromagnetischen Strahlungsspektrums.

6 ERGEBNISSE

7 SCHLUSSFOLGERUNGEN