

Zeitschrift:	Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement = Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire = Geomatica Svizzera : geoinformazione e gestione del territorio
Herausgeber:	geosuisse : Schweizerischer Verband für Geomatik und Landmanagement
Band:	110 (2012)
Heft:	9
Artikel:	ADM-Aeolous : die Windmission
Autor:	Röösli, Claudia
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-309307

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 23.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

ADM-Aeolous: die Windmission

Die Mitarbeit bei der Entwicklung der Satelliten-Mission ADM-Aeolous (Atmospheric Dynamics Mission) gibt nicht nur Einblicke in die Mechanismen wie global Wind vom Weltall gemessen werden soll, sondern ermöglicht es allgemein die Problemstellungen und Herausforderungen beim Bau eines LIDAR-Satelliten zu erfassen und mögliche Lösungswege zu erarbeiten. Im Zusammenhang mit einem Young Graduate Trainee (Praktikum) ergab sich die Gelegenheit, im Bereich des Bodensegments in der Entwicklung von neuen Kalibrierverfahren des Satelliten sowie der Optimierung der Datenprozessierung mitzuarbeiten.

La collaboration au développement de la mission satellite ADM-Aelous (Atmospheric Dynamics Mission) ne donne pas seulement un aperçu des mécanismes de mesure du vent global de l'univers mais permet d'une façon générale de saisir la problématique et les défis lors de la construction d'un satellite LIDAR et d'élaborer des pistes de solutions possibles. Dans le contexte du Young Graduate Trainee (stage) la possibilité s'est offerte dans le domaine du segment sol de collaborer dans le développement de nouveaux procédés de calibrage du satellite et de l'optimisation de la procédure des données.

La collaborazione nello sviluppo della missione satellitare ADM-Aeolous (Atmospheric Dynamics Mission) non fornisce solo uno spaccato dei meccanismi di come misurare il vento globale dallo spazio, ma consente pure di rilevare le problematiche e le sfide incontrate durante la costruzione di un satellite LIDAR e di elaborare possibili approcci di soluzione. In occasione di un Young Graduate Trainee (praticantato) si è presentata la possibilità di collaborare, nell'ambito del segmento del suolo, a un nuovo processo di calibratura dei satelliti e di ottimizzazione nell'elaborazione dei dati.

C. Röösli

Die europäische Raumfahrtagentur (ESA) bietet jedes Jahr etwa 70 Universitäts-Ab solventen aus Europa die Möglichkeit, ein einjähriges Praktikum zu absolvieren, das so genannte YGT (Young Graduate Trainee). Dabei werden Stellen in allen möglichen Bereichen, sei es im administrativen Bereich, der bemannten Raumfahrt oder der Erdbeobachtung, ausgeschrieben. Ich habe mich in diesem Zusammenhang erfolgreich für die ADM-Aeolus Mission beworben. Der Satellit soll zukünftig den atmosphärischen Wind mit globaler Abdeckung messen und damit die Wetter- und Klimamodelle auf der ganzen Welt verbessern. Im Moment basiert das Windmodell auf punktuellen

Messungen durch Ballone und bodenge stützten Messsystemen, welche bedingt durch die geografische Lage der Kontinente keine globale Abdeckung erlauben. Dies soll mit ADM-Aeolous verbessert werden, wobei die geforderten Messgenauigkeiten bis 2 km über der Oberfläche 1m/s und von 2 bis 16 km 2 m/s betragen. ADM-Aeolous gehört zu den so genannten «Earth Explorer Missions», welche die Erde und ihre Prozesse beobachten. ADM-Aeolus ist ein erster «Pionier-Satellit», womit die Machbarkeit und der Nutzen von Windmessungen aus dem Weltall getestet werden. Der Satellit soll nach aktuellem Zeitplan im Jahre 2014 gestartet werden. Das Messprinzip basiert auf einem LIDAR-Instrument (Light Detection And Ranging), welches Doppler-Verschiebungen auf-

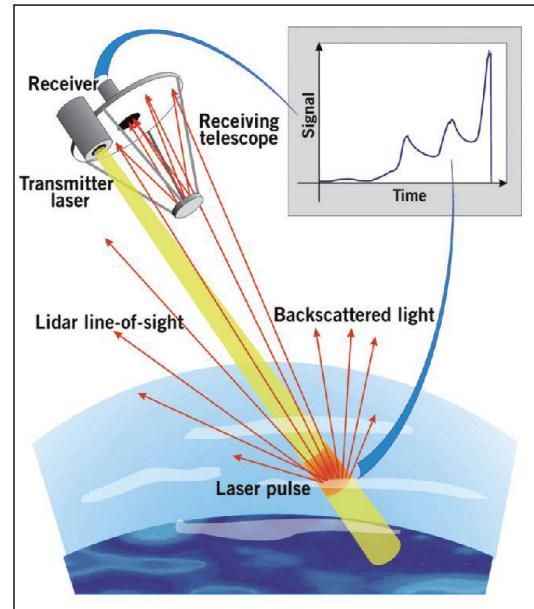


Abb. 1: Schematischer Messaufbau des Instrumentes des Satelliten mit der Antenne und dem rückgestreuten und Doppler-verschobenen Laserpuls.

grund atmosphärischer Bewegung misst. Das Instrument ALADIN (Atmospheric LAser Doppler INstrument) sendet Pulse eines Laserstrahls im UV-Bereich aus (Wellenlänge 355 nm), wobei das ausgesendete Signal durch Moleküle und Aerosole (Wassertropfen und kleinste Partikel) reflektiert und von der Antenne des Satelliten detektiert wird (Abbildung 1). Durch die gemessene Dopplerverschiebung und der Laufzeit des empfangenen Signals kann die Bewegungsgeschwindigkeit der Moleküle und Partikel für definierte Höhen über der Erdoberfläche bestimmt werden. Die Atmosphäre ist in so genannte «Bins» (Kübel) unterteilt, welche die vertikale Auflösung repräsentieren. Um eine horizontale Windkomponente messen zu können, ist der Satellit um 35° zur Vertikalen ausgelenkt, wobei die Messung relativ zur Oberfläche definiert ist (Geschwindigkeit null, Abbildung 2). Die Fluggeschwindigkeit des Satelliten sowie die Rotation der Erde unter dem Satelliten würde eine Dopplerverschiebung induzieren. Deshalb ist der Satellit leicht rückwärtsgerichtet und misst im rechten Winkel zur Flugrichtung. Eine bekannte Ausrichtung des Satelliten ist elementar

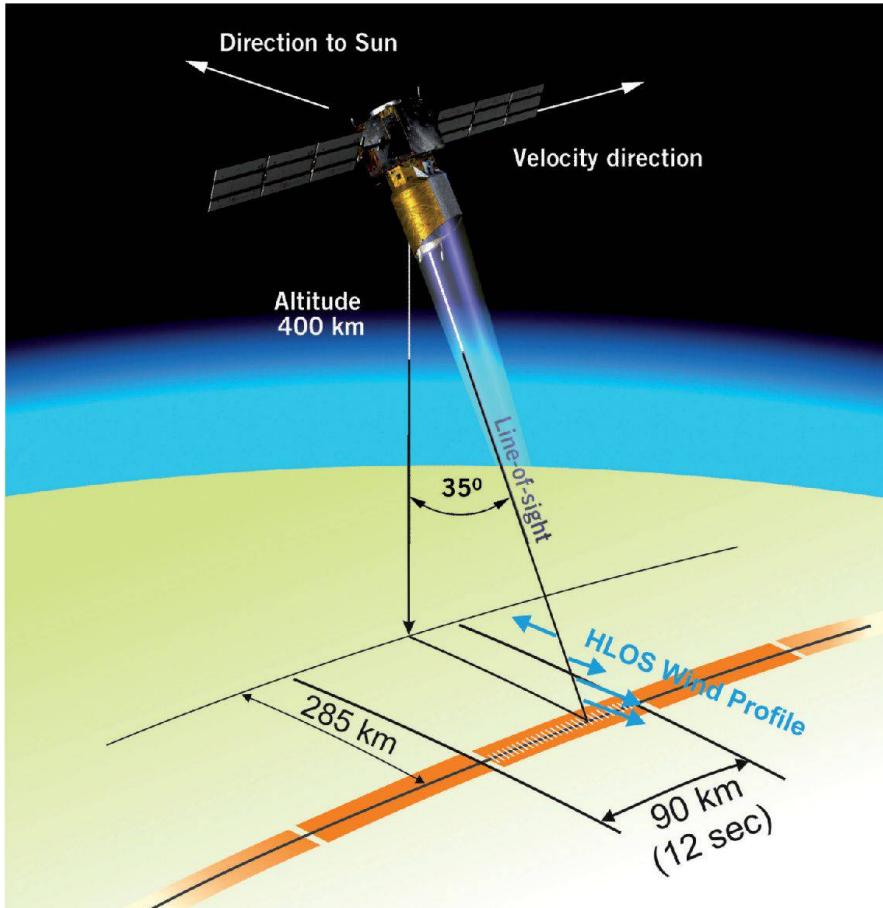


Abb. 2: Messprinzip des LIDAR-Satelliten mit der Auslenkung von 35° aus der Vertikalen, um aus 400 km Höhe horizontale Winde erfassen zu können (HLOS Wind).

um unterscheiden zu können, ob die Dopplerverschiebung durch Wind verursacht oder durch sonstige Effekte erwirkt wird. Die Orientierung und Positionierung des Satelliten im Raum wird durch Sternenkameras und GPS-Empfänger verwirklicht. Die Anordnung und Ausrichtung des Teleskopes bezüglich dieser Geräte wird mit einer beschränkten Genauigkeit bereits auf der Erde vermessen, wobei eine Kalibrierung im Orbit auf Grund der veränderten äusseren Bedingungen und Einflüsse zwingend notwendig ist.

Messprinzip

Der ausgesendete und reflektierte Laserpuls wird durch das Teleskop empfangen und von zwei unabhängigen Detektoren

gemessen. Diese bestehen aus dem Mie-Kanal, welcher Doppler-Verschiebungen durch Bewegung der Aerosole misst und dem Rayleigh-Kanal, welcher die Bewegung der Moleküle aufzeichnet. Durch die Brownsche Bewegung der Moleküle kann das rückgestrahlte Signal bei idealen Bedingungen mit einer Gaussverteilung beschrieben werden (Rayleigh-Brillouin Streuung), wogegen die Verteilung des durch Aerosole reflektierten Signals sehr schmalbandig und nadelförmig ist (siehe Abbildung 3). Inwieweit redundante Messungen aufgrund der Kanäle möglich sind, wird sich erst im Orbit zeigen, da die Konzentration der Aerosole gegenüber den Molekülen in den verschiedenen Luftsichten sehr unterschiedlich ist. Es wird erwartet, dass der Mie-Kanal in unteren Schichten und beim Bodenecho gute Resultate liefern wird, wobei der Rayleigh-

Kanal vor allem die höheren Luftsichten abdecken soll.

Aufgaben für ADM-Aeolus im Bereich des Bodensegments

Die ausgeschriebene YGT-Stelle befasste sich mit dem Boden-Segment, welches das Daten-Management und die Daten-Verarbeitung auf der Erde beinhaltet. Die Rohdaten, welche vom Satelliten auf die Erde gesendet werden, müssen als erstes aufbereitet werden, bevor sie zum Benutzer (zum Beispiel nationale Wetterdienste) gelangen. Es gibt drei Stufen in der Prozessierungskette (L0, L1 und L2), wobei jede Stufe ein weiterer Verarbeitungsschritt umfasst. Somit sind die L0-Daten die reinen Rohdaten, wie sie vom Satellit kommen, L1-Daten georeferenzierte (L1A) sowie kalibrierte Beobachtungen (L1B) und L2 beinhaltet abgeleitete Produkte wie Wolkenbedeckung und korrigierte Windprofile.

Um auf der einen Seite das Design des Satelliten und auf der anderen Seite die Prozessoren und die Verarbeitungsschritte zu testen, wird ein Simulator verwendet. Das Simulationsprogramm kann Rohdaten erzeugen, wie sie in Zukunft vom Satelliten kommen werden. Es können Parameter der Atmosphäre, wie Wind, Temperatur, Druck oder Konzentration von Aerosolen oder Molekülen gewählt sowie verschiedene Parameter bezüglich des Instruments ALADIN definiert werden. Anhand der Modelle und Daten wird getestet, ob nach aktuellem Wissen mit verschiedenen Messanordnungen und dem Instrument die Anforderungen an die Genauigkeiten und Zuverlässigkeit erfüllt werden oder wo Prozesse optimiert werden können oder müssen. Die Entwicklung der Software geschieht in Zusammenarbeit mit der Industrie und Universitäten sowie nationalen Wetterinstituten. Im Rahmen meiner Arbeit habe ich mich mit dem Testen der Leistung unter verschiedenen Aspekten sowie der Entwicklung von neuen Kalibrationsverfahren und der Optimierung des L1B-Prozessors befasst.

Bodenecho als Null-Bezug

Die Dopplerverschiebung wird anhand von relativen Messungen bezüglich der Erdoberfläche gemessen. Dies setzt voraus, dass das rückgestreute Signal des Bodens als solches erkannt wird. Es wird erwartet, dass dies vor allem über den Polen möglich sein wird, da die Albedo (Rückstrahleigenschaft) des schneedeckten Bodens besonders hoch ist. Da dies wenige Messungen pro Orbit sind, muss ein spezielles Augenmerk auf die Zuverlässigkeit und Genauigkeit dieser Referenz gerichtet sein. Dazu soll die allgemeine Verfügbarkeit der Bodenechos optimiert werden. Dies war eine Hauptaufgabe der Arbeit als Trainee, um mit den Problemen und Schwierigkeiten im Bezug einer Satellitenmission vertraut zu werden.

Die erste Phase nach dem Start eines Satelliten ins All ist normalerweise die heikelste. In dieser werden das System hochgefahren sowie erste Tests durchgeführt. Nachdem sich der Satellit auf seiner Bahn eingefunden und sich dem niedrigen Druck und der fehlenden Gravitation angepasst hat, können erste Versuche und Kalibrierungen mit den Instrumenten durchgeführt werden. Wir würden eine Scheinbewegung sehen, falls es eine Diskrepanz zwischen gemessener und tatsächlicher Ausrichtung gibt. Es kann ebenso berechnet werden, wie viel Dopplerverschiebung es theoretisch mit bestimmter Ausrichtung geben sollte oder aber mit Hilfe eines Oberflächenmodells die Distanz zum Boden. Somit wird an der Idee eines Verfahrens gearbeitet, welches durch gezielte Ausrichtung und Messung des Bodenechos anhand der Laufzeitmessung und dem Vergleich der berechneten und gemessenen Dopplerverschiebung den Messfehler in der Orientierung bestimmen kann. Es gibt Ansätze um mit gezielter Steuerung und Ausrichtung des Satelliten die Messfehler empirisch zu bestimmen, wobei vermehrt Bodenechos mit verschiedener Genauigkeit und Zuverlässigkeit gewichtet in die Berechnung miteinbezogen werden. Es hat sich gezeigt, dass die Kalibrierung des Satelliten

wohl eines der Schlüsselprobleme werden könnte und nur eine erfolgreiche und genaue Bestimmung der Ausrichtung des Satelliten genaue Messungen zulassen wird.

Optimierung des L1B-Prozessors für den Rayleigh-Kanal

Neben der operationellen Kalibrierung des Satelliten ist die Verarbeitung der Messungen ebenfalls ein elementarer Bestandteil der Messkette, welches ebenso eine Aufgabe im Bereich des Bodensegments ist. Der Rayleigh-Kanal wird durch einen so genannten Fabry-Pérot-Interferometer detektiert. Das ankommende Signal durchläuft zwei Filter, wobei die Messgröße die Anzahl Photonen, die jeden Filter passieren, gemessen wird. Anhand des Verhältnisses der Intensität kann

die Dopplerverschiebung des eingehenden Signals berechnet werden, woraus der eigentliche Wind berechnet wird (Abbildung 3). Die Photonen werden auf einem 16x16 Pixel CCD-Chip (Charge Coupled Device) registriert und kolonnenweise ausgelesen. Dieses Verfahren wird auf jede definierte Bin des Rayleigh-Kanals angewendet.

Bisher wurde das Verhältnis der zwei Kanäle durch Aufsummieren der Photonen pro Linie realisiert, wobei die ersten sechs Pixel-Kolonnen dem einen Filter B und die anderen dem anderen Filter A zugewiesen werden:

$$r = \frac{A - B}{A + B}$$

Mit der so genannten Response r wird durch eine Übertragungsfunktion die zugehörige Frequenzverschiebung ermittelt. Die Übertragungsfunktion wird aus

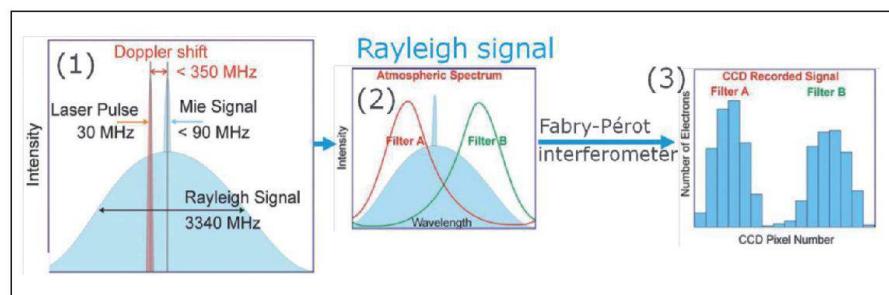


Abb. 3: Schematische Darstellung des reflektierten Signals (1) und des Detektors (2) mit der Abbildung auf dem CCD-Chip (3).

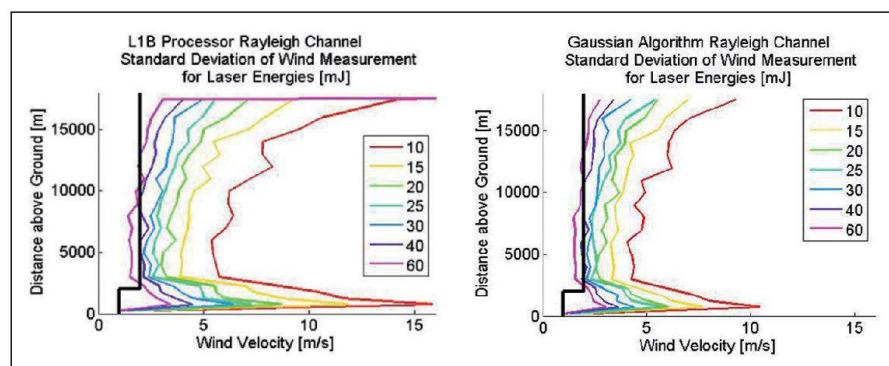


Abb. 4: Resultate der Prozessierung von Windmessungen mit dem klassischen Prozessor (L1B Processor, links) sowie der neuen Methode mit analytischen Ansatz (Gaussian Algorithm, rechts). Die Kurven repräsentieren die Standardabweichung für Signale mit verschiedener Intensität (Energie in mJ). Die Genauigkeit ist vor allem für tiefe Energie (10 mJ, rot) besser mit der neuen Methode.

Kalibrierungsmessungen erstellt, wobei die Response für bestimmte, gesteuerte Frequenzverschiebungen gemessen wird. Diese Funktion wird im Orbit wiederholt bestimmt. Der hauptsächliche Nachteil dieser Methode ist die Aufsummierung des Rauschens, das auf jedem Pixel liegt. Dieses Rauschen erzeugt einen unbestimmten Offset der Response, der vor allem bei einem niedrigen Signal-zu-Rausch-Verhältnis Probleme bereiten kann. Aus diesem Grund sollen Untersuchungen zeigen, ob die Response auch mit einem analytischen Ansatz bestimmt werden kann, um mehr Messungen mit einbeziehen zu können.

Der Ansatz wird mit simulierten Rohdaten getestet. Die Daten durchlaufen sowohl den klassischen als auch einen neuen Arbeitsablauf. Am Ende werden die berechneten Windgeschwindigkeiten verglichen. Es wird angenommen, dass die Verteilung der Photonen auf dem CCD-Chip mit zwei summierten Gauss-Funktionen abhängig von der Amplitude a_1 , der Halbbreite w_1 und der Position des Maximums x_1 beschrieben werden kann:

$$y(x) = a_0 + a_1 \cdot e^{-\frac{(x-x_1)^2}{w_1^2}} + a_2 \cdot e^{-\frac{(x-x_2)^2}{w_2^2}}$$

Der Parameter a_0 beschreibt den Offset der ganzen Kurve bezüglich der y-Achse, welcher vor allem durch Rauschen entsteht. Anstelle eines Aufsummierens der Photonen wird die möglichst ideale Kurve $y(x)$ durch das Bild des CCD-Chips gepasst. Mithilfe der Kurvenfunktion und des Integrals kann gezeigt werden, dass die Berechnung der Response auf

$$r = \frac{a_1 w_1 - a_2 w_2}{a_1 w_1 + a_2 w_2}$$

reduziert werden kann. Somit ist die Response nur noch von der Amplitude und Halbwertbreite der Kurven abhängig und nicht mehr vom Offset a_0 . Dadurch besteht eine kleinere Abhängigkeit vom Messrauschen und somit sollten bei tiefen Signal-zu-Rausch-Verhältnissen ebenso verlässliche Windgeschwindigkeiten messbar sein.

Die Untersuchungen müssen zeigen, dass mit dieser analytischen Methode auf der einen Seite die Kalibrierung möglich aber ebenso stabil ist sowie eine geringe Sensitivität auf Ausreisser und tiefe Signal-zu-Rausch-Verhältnissen besteht. Mit dem Simulator können verschiedene Szenarien in Bezug auf die Stabilität des Instruments sowie Windgeschwindigkeiten simuliert werden. Um den Vorteil vor allem in Bezug auf niedrige Signalstärken zu testen, wird die simulierte ausgesendete Signalstärke stark reduziert.

Die Resultate sind visuell in der Abbildung 4 dargestellt. Es kann gesehen werden, dass sich die Standardabweichung und somit die Genauigkeit der Messungen im Vergleich zum klassischen Verarbeitungsweg stark verbessert. Dies ist, wie zu erwarten war, vor allem bei tiefen Energien (z.B. 10 mJ) sowie oberflächennahen Luftsichten (wenig Rayleigh-Signal) der Fall. Die absoluten Windmessungen sind für beide Verfahren bei hohen Signal-zu-Rausch-Verhältnis (60 mJ) in etwa gleich genau und zuverlässig.

Verschiedene Tests haben weiter gezeigt, dass die Parameter des analytischen Ansatzes stabil sind. Das heißt zum Beispiel, dass sich die Positionen der Maxima x_i der Kurven nicht ändern. Dieser Wert entspricht der physikalischen Ausrichtung und Positionierung der Filter des Interferometers. Somit sehen die Ergebnisse sehr vielversprechend aus und idealerweise könnte der Ansatz weiterverfolgt und implementiert werden. Der Hauptnachteil der Methode ist der sehr viel höhere Rechenaufwand im Vergleich zur alten Methode. Das Einpassen der Kurve steht dem einfachen Summieren gegenüber. Da die Messungen des Satelliten in sehr kurzer Zeit verarbeitet und zur Verfügung gestellt werden sollen, ist dies ein bedeutender Faktor. Ebenso ist es nicht gesichert, dass sich die Messungen gemessen auf dem CCD-Chip als Gauss-Kurven verhalten, da verschiedene externe Einflüsse die Verteilung verändern könnten.

Nichtsdestotrotz zeigen die Resultate ein mögliches Potenzial für die Überwachung der physikalisch stabilen Ausrichtung der Filter des Detektors. Somit kann diese Me-

thode vermutlich nicht für das tägliche Prozessieren der Winddaten verwendet werden, jedoch liefert sie Möglichkeiten zur Überwachung und Qualitätsprüfung des Instrumentes.

Fazit

Ein Erdbeobachtungssatellit ist ein komplexes Messsystem, das unter Bedingungen arbeiten muss, die auf der Erde nur simuliert werden können. Nach dem Start sind keine Änderungen an der Hardware mehr möglich, und auch die Software kann nur begrenzt angepasst werden. Die Entwicklung eines solchen Systems ist aufwendig und viele mögliche Fehlerquellen müssen berücksichtigt werden. Ferner müssen die Daten sehr schnell bearbeitet und verteilt werden, was zusätzliche Anforderungen an das Bodensegment stellt. Ein YGT ermöglicht den direkten Einblick in die Entwicklung solch eines komplexen Systems und die Mitarbeit an einem hoffentlich zukunftsträchtigen Projekt.

Referenzen:

- www.esa.int/esaLP/ESAES62VMOC_LPadmoelus_0.html
- ADM-Aeolus, Science report, European Space Agency, April 2008.
- AE-RP-ESA-SY-061, Aeolus Aeolus Performance Analysis & Enhancement of In-Flight Calibration Tasks, YGT Final Report, Claudia Röösli, 2011.
- Correcting winds measured with a Rayleigh Doppler lidar from pressure and temperature effects, A. Dabas, M. Denneulin, P. Flamant, C. Loth, A. Garnier, and A. Dolfi-Bouteyre, Tellus A60(2), 206–215 (2008).

Claudia Röösli
ETH Zürich
NO H 39.3
Sonneggstrasse 5
CH-8092 Zürich
roclaudi@ethz.ch