

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: APEX : ein Bildspektrometer der 4. Generation

Autor: Jehle, Michael / Schaepman, Michael / Damm, Alexander

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-309306>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 08.02.2025

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

APEX: ein Bildspektrometer der 4. Generation

Abstract – Das Airborne Prism Experiment (APEX) ist ein schweizerisch/belgisches Gemeinschaftsprojekt, welches die Entwicklung eines neuartigen, flugzeuggestützten Bildspektrometers und der dazugehörigen Infrastruktur ermöglichte. Das APEX Projekt umfasst den Sensor sowie die nötige Flugzeuginfrastruktur, eine Kalibrationseinrichtung (CHB) und eine eigene Prozessier- und Archivierungsumgebung (PAF). Die individuell angepasste Infrastruktur sichert den operationellen Betrieb des Instrumentes und eine langfristig gleichbleibende hohe Qualität der Produkte. Der APEX Sensor ist ein dispersives pushbroom Spektrometer, entworfen, um auf regionaler Ebene neue Erkenntnisse für das Verständnis von gekoppelten Prozessen in Luft, Wasser und auf dem Boden zu erhalten. APEX wurde entwickelt, um Daten und Produkte mit hoher spektraler, radiometrischer und geometrischer Genauigkeit zur Verfügung zu stellen. Die Entwicklungsphasen des Projekts (Phasen A bis C/D) wurden über das ESA PRODEX Programm finanziert. In der momentanen operationellen Projektphase E teilen sich die beiden Partner RSL/Schweiz und VITO/Belgien die Aufgaben innerhalb des operationellen Betriebes und der Produktentwicklung im Auftrag der ESA.

L'Airborne Prism Experiment (APEX) est un projet commun suisse/belge qui a permis de développer un spectromètre d'image aéroporté novateur ainsi que l'infrastructure y afférente. Le projet APEX comprend le senseur ainsi que l'infrastructure aéronautique nécessaire, une installation de calibrage (CHB) et son propre environnement de procédure et d'archivage (PAF). L'infrastructure individuellement adaptée assure l'exploitation opérationnelle de l'instrument et un niveau de qualité constamment haut à long terme des produits. Le senseur APEX est un spectromètre dispersif pushbroom, développé pour acquérir de nouvelles connaissances permettant la compréhension au niveau régional de processus reliés dans l'air, l'eau et le sol. APEX a été développé afin de mettre à disposition des données et des produits de haute précision spectrale, radiométrique et géométrique. Les phases de développement du projet (phases A à C/D) ont été financées par le programme ESA PRODEX. Dans l'actuelle phase de projet opérationnelle E les deux partenaires RSL/Suisse et VITO/Belgique se partagent sur mandat de l'ESA les tâches à l'intérieur de l'exploitation opérationnelle et du développement des produits.

L'Airborne Prism Experiment (APEX) è un progetto congiunto franco-belga che ha consentito la realizzazione di un nuovo spettrometro a formazione di immagini, aereo portato, e della relativa infrastruttura. Il progetto APEX include il sensore, tutta l'infrastruttura aerea necessaria, un dispositivo di calibratura (CHB) e un proprio ambiente di elaborazione e archiviazione (PAF). L'infrastruttura individualmente adattata garantisce il funzionamento operativo del dispositivo e un'elevata qualità dei prodotti che non muta col passare del tempo. Il sensore APEX è uno spettrometro dispersivo del tipo «pushbroom» che fornisce nuovi spunti per una migliore comprensione, a livello regionale, dei processi che si svolgono nell'aria, nell'acqua e a terra. APEX è stato sviluppato per riuscire a fornire dati e prodotti di elevata precisione spettrale, radiometrica e geometrica. Le fasi di sviluppo del progetto (fasi da A a C/D) sono state finanziate attraverso il programma ESA PRODEX. Nell'attuale fase progettuale E, i due partner RSL/Svizzera e VITO/Belgio si dividono – su incarico dell'ESA – i compiti nell'ambito della gestione operativa e dello sviluppo di prodotti.

M. Jehle, M. Schaepman, A. Damm

Überblick

Der APEX Sensor (1) ist ein abbildendes Spektrometer zur Erfassung und Darstellung von Wellenlängen im Bereich von 380 – 2500 nm (siehe Abbildung 1). Von insgesamt 532 verfügbaren Spektralbändern sind 335 Bänder im Bereich von ~380–970 nm frei konfigurierbar. Quer zur Flugrichtung (Acrosstrack) werden gleichzeitig 1000 Pixel bei einem Gesichtsfeld (FOV) von 28° aufgezeichnet. Damit wird eine geometrische Auflösung von 0.5–1.75 m bei Flughöhen von 1000–3500 m über Grund erreicht. Weitere wichtige Eigenschaften des Sensors sind in Tabelle 1 aufgelistet.

APEX wurde entwickelt, um Daten und Produkte mit hoher spektraler, radiometrischer und geometrischer Genauigkeit zu generieren. Die mögliche Genauigkeit in diesen Bereichen wurde im Wesentlichen aufgrund folgender Rahmenbedingungen realisierbar:

- (a) Bereitstellung eines hochpräzisen Spektrometers, das von erfahrenen Industriepartnern entwickelt wurde,
- (b) die Möglichkeit einer umfassenden Charakterisierung und Kalibration des Instruments in einer eigens dafür eingerichteten Kalibrierungsumgebung (CHB) am DLR in Oberpfaffenhofen, Deutschland sowie einer in APEX eingebauten Kalibrationseinrichtung,



Abb. 1: Der APEX Sensor fertig zum Einbau in die bereitstehende DO-228 D-CODE des Deutschen Luft- und Raumfahrtzentrums DLR in Oberpfaffenhofen, Deutschland.

und

(c) die operationelle Datenkalibrierung und höhere Produkte-Generation im Rahmen der auf APEX zugeschnittenen Prozessierungsumgebung (PAF). Die PAF wurde bei RSL entwickelt und wird operationell bei VITO betrieben.

Projektschwerpunkte

Der Schwerpunkt des APEX Projektes in der Phase E liegt in der Bereitstellung sowohl standardisierter als auch auf Kundenwünsche zugeschnittener Produkte, die sich durch eine besonders hohe Qua-

lität vor allem im Bezug auf die geometrische und radiometrische Genauigkeit auszeichnen. Die Verwendung des Datenmaterials ist deshalb im wissenschaftlichen Bereich von höchstem Interesse. Zwei wesentliche Gesichtspunkte, die diesbezüglich den Mehrwert von APEX herausstellen, sind (4te Generation):

1. Die Schaffung neuer Erkenntnisse im Bereich der Photon-Materie Interaktion (Fernerkundung früherer Generationen betrachtet die Interaktionen von Licht an Oberflächen, dann die Interaktionen von Photonen mit Oberflächen).

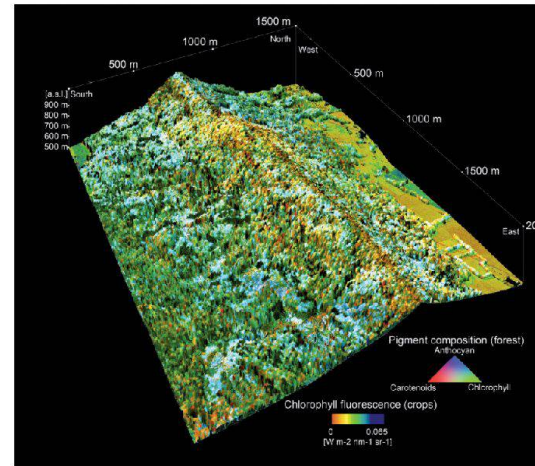


Abb. 2: Chlorophyllfluoreszenz und Pigmentzusammensetzung gemessen mit APEX und überlagert auf LIDAR Daten (Lägeren, Schweiz; Daten: RSL).

2. Die wissenschaftliche Fokussierung auf ein besseres Verständnis von Land-Atmosphären Interaktionen an der planetaren Grenzschicht (planetary boundary layer). Dies basierend auf regionalen Rückkopplungsmechanismen, welche heute Teil der Forschungsprioritäten des IPCC, GEWEX, iLEAPS, GCOS und anderen grossen wissenschaftlichen Programmen sind.

Weiterhin garantiert der Einbezug von nationalen sowie internationalen Spitzeninstituten und Industriepartnern die Herstellung gleichbleibend hochwertiger Produkte. Die eigens für APEX geschaffenen Prozessierungs-, Archivierungs- (PAF) sowie Kalibrationsumgebungen ermöglichen einen unabhängigen, operationellen Betrieb bei gleichzeitig hoher Garantie langfristig herausragender Datenqualität. Ausserdem ist APEX das einzige Bildspektrometer seiner Art mit der Möglichkeit einer on-board Charakterisierung. Damit erfüllt das APEX Projekt Kernanforderungen, die vorausgesetzt werden müssen, um APEX zu einer flexiblen wissenschaftlichen Plattform zu machen. Als wissenschaftliche Plattform bietet APEX die Möglichkeit, die Planung zukünftiger optischer Sensoren hinsichtlich Entwicklung und wissenschaftlicher Anwendungen zu optimieren. APEX kann somit als Experimentierwerkzeug und als Prüfstand

Spectral Performance		
	VNIR	SWIR
Spectral Range	375–983 nm	991–2500 nm
Spectral Bands	334 (unbinned), 114 (def. binned)	198
Spectral Sampling Interval	0.45–7.5 nm	5–10 nm
Spectral Resolution (FWHM)	0.7–9.7 nm	6.2–12 nm

Spatial Performance	
Spatial Pixels (across track)	1000
FOV	28°
IFOV	0.028° (~0.5 mrad)
Spatial Sampling Interval (across track)	1.75 m at 3500 m above ground level

Detector Characteristics		
	VNIR	SWIR
Type	CCD	CMOS
Dynamic Range	14 bit	13 bit
Pixel Size	22.5 µm by 22.5 µm	30 µm by 30 µm
Smile	average < 0.35 pixel	
Keystone (Frown)	average < 0.35 pixel	
Co-Registration	average < 0.55 pixel	

Other Information	
Data Capacity	500 GB on solid state disks
Data Transfer	Spectral frames: 30 MB/s
Data rate for default configuration	0.4 GB/km (1250 km max.)

Tab. 1: Charakteristische Merkmale von APEX.

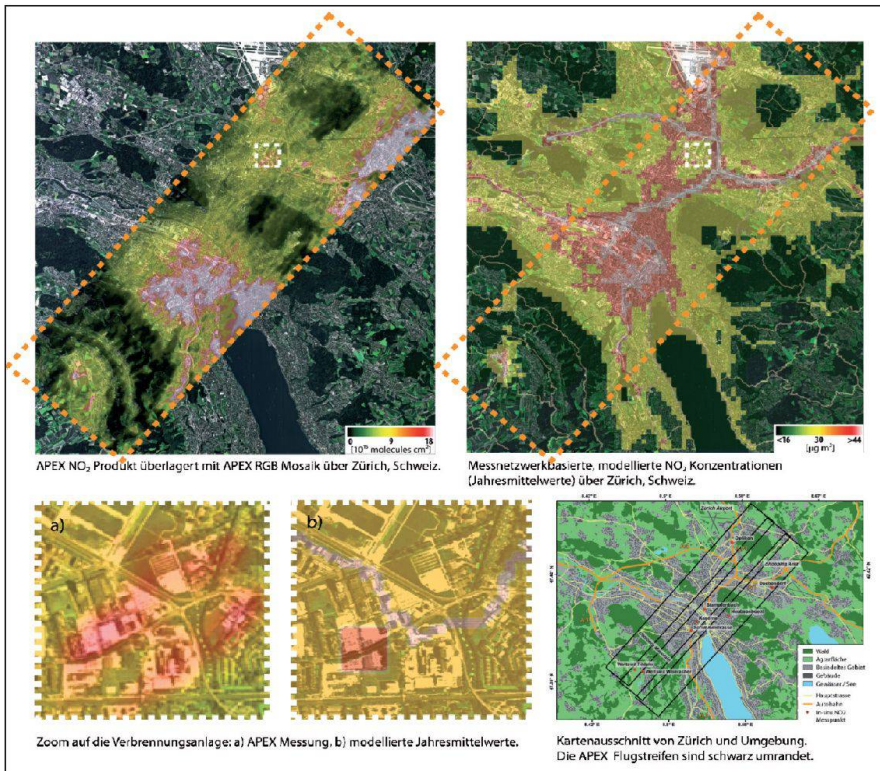


Abb. 3: Vertikale Säulen von atmosphärischem NO₂ (Zürich, Schweiz; Daten: Ch. Popp / EMPA).

für künftige weltraumgestützte Missionen verwendet werden. Dies gilt insbesondere für die GMES Sentinel 2 & 3 Missionen (unterstützend auch für Sentinel 4 & 5) sowie einige der geplanten Earth Explorer Missionen (z.B. FLEX) und so genannte Third-Party Missions (EnMap, NASA HySPIRI etc.). Ein besonderes Interesse der ESA an APEX ergibt sich auch aufgrund der Tatsache, dass viele Weltraum-Missionen Spektrometer beinhalten, die in verschiedenen Bereichen des elektromagnetischen Spektrums operieren (z.B. ESA-Missionen ENVISAT-MERIS, ENVISAT-SCIAMACHY, Proba-CHRIS, Sentinel-2 und Sentinel-3).

Die ESA plant und entwickelt unter anderem FLEX und ein Fourier Transform Imaging Spectrometer (FTIS). Auch andere Raumfahrtbehörden haben eine Vielzahl von Projekten für die Realisierung von weltraumgestützten Instrumenten in Vorbereitung. Für diese Projekte ist die Einschätzung ihrer Machbarkeit, mit Hilfe von Simulationen, Kalibrierungsmöglichkeiten und Anwendungen basierend auf

Versuchsmessungen, von überragender Bedeutung. Seitens der ESA ist APEX das einzige luftgestützte abbildende Spektrometer, das für solche Testmessungen eingesetzt werden kann.

Produkte

Abbildende Spektrometer verfügen über den Vorteil, dass hunderte Spektralkanäle gleichzeitig erfasst werden können. Damit können auch viele Produkte gleichzeitig abgeleitet werden und das ohne eine (zu) hohe Autokorrelation zwischen diesen Produkten zu erhalten. Spektrometerdaten werden heute in der Fernerkundung für alle Aspekte der Erdsystemwissenschaften eingesetzt und genutzt (2). Aktuelle Resultate innerhalb der APEX Produktlinie zeigen quantitative Beispiele von Eigenschaften und Prozessen in verschiedenen Bereichen der Sphären (e.g. Biosphäre, Atmosphäre, Kryosphäre, Hydrosphäre) (vgl. Abb. 2 – 5). Eine Charakterisierung der Biosphäre über Vegetation gelingt beispielsweise mit einer Pigmentkomposition wichtiger Vegetationsparameter (e.g. Anthocyanin, Chlorophyll, Carotenoid) und der Chlorophyll Fluoreszenz, die direkt mit der Pflanzenphotosynthese korreliert.

Abbildung 2 zeigt dazu ein Beispiel über einem der APEX Testgebiete (Lägeren) in der Schweiz. Informationen aus Pigmentkarten liefern wichtige Hinweise zum Verständnis von biochemischen Prozessen in der Vegetation und wie diese auf sich ändernde Umwelteinflüsse reagieren. Ein weiteres Beispiel in Abbildung 3 zeigt mit

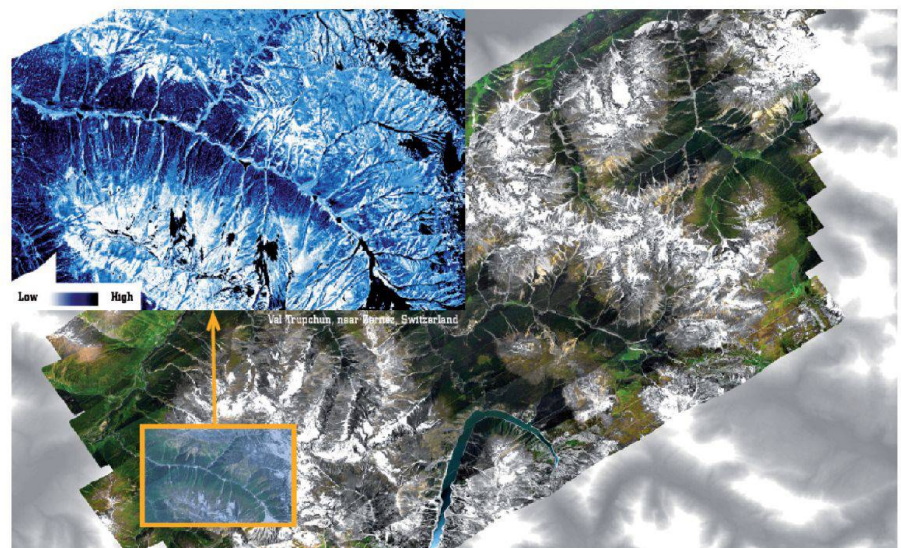


Abb. 4: Vegetationswassergehalt über dem Val Trupchun im Schweizer Nationalpark (Daten: SNP und RSL).

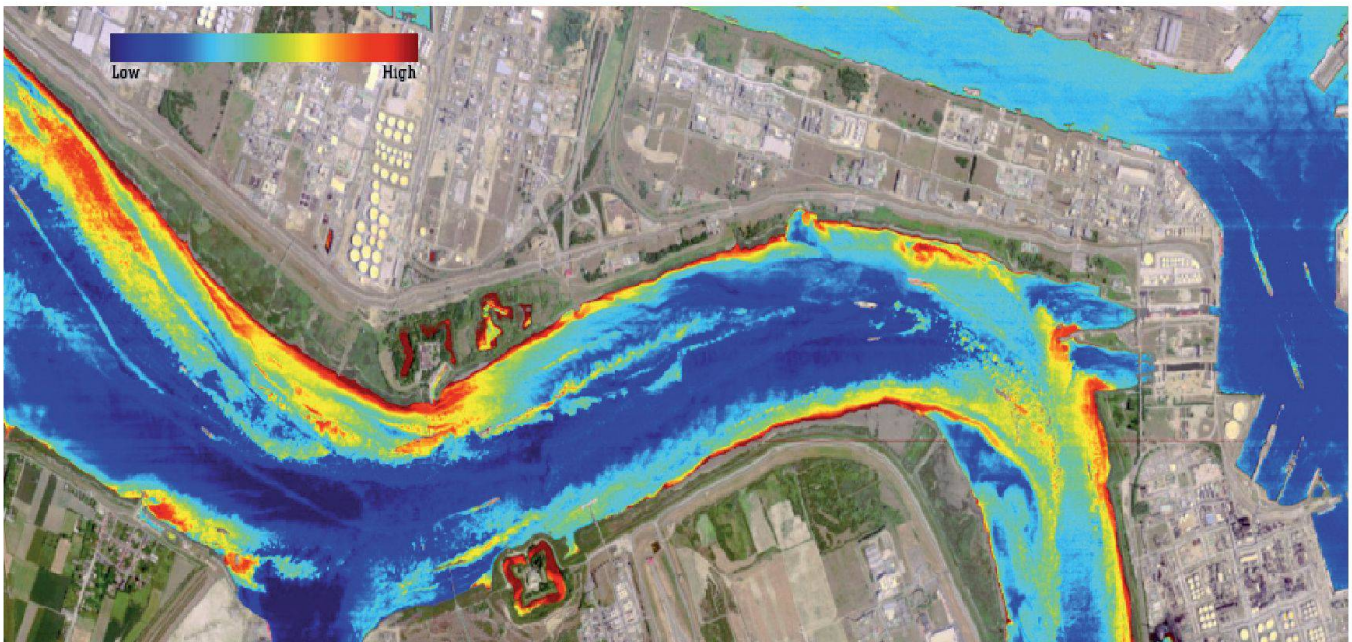


Abb. 5: Visualisierung gelöster Sedimente in der Schelde bei Antwerpen, Belgien (Daten: VITO).

der Schätzung von atmosphärischem NO_2 aus APEX Daten einen wichtigen Beitrag zur Verteilung und Konzentration atmosphärischer Spurengase (3). Eine hochaufgelöste Kartierung von NO_2 wie in diesem Beispiel erlaubt das Aufspüren lokaler und kleinräumiger Emissionsquellen und eröffnet die Möglichkeit zum besseren Verständnis atmosphärischer Transportmechanismen. Unterschiede zwischen dem jährlichen Mittel modellierter (hochskalierter) lokaler Messstationen und APEX Messungen zeigen, dass lokale, hochdynamische Emissionen ggf. nicht ausreichend gut von den momentan vorhandenen Messnetzwerken erfasst werden können. Abbildung 3 unten verdeutlicht, dass von den bodenbasierten Messstationen Emissionen über der Verbrennungsanlage grösstenteils nicht erfasst wurden (wg. Emissionen durch hohe Kamine).

APEX ermöglicht durch seine hohe Anzahl an Spektralkanälen auch eine quantitative Betrachtung des Wassergehaltes in der Vegetation. Insbesondere wenn verschiedene Vegetationstypen unterschiedlichen Wassergehalt aufweisen, kann dies mit Spektrometerdaten detailliert erfasst werden (Abbildung 4). Schlussendlich ist die Messung gelöster Sedimente ein wichti-

ger Faktor beim Verstehen von Fließgeschwindigkeiten, Lichttransmission in Wasserkörpern und anderen Transportmechanismen in Flüssen (Abbildung 5). Die Produktpalette von APEX beinhaltet auch die Schätzung von Wasserinhaltsstoffen, physikalischen Eigenschaften von Schnee und Eis sowie deren Verunreinigungen. All diese Produkte führen zu einem verbesserten Verständnis der Dynamik gekoppelter Systeme der Erdoberfläche. Weitere Produktbeispiele können auf der APEX Website (4) entnommen werden. Ebenso ist ein Testdatensatz vorhanden, welcher den Einstieg in die Welt der Spektrometerdatenanalyse schnell und unkompliziert ermöglicht.

APEX wird seit 2010 operationell betrieben und hat bereits mehrere Terabyte Daten an umweltrelevanter Information für Wissenschaft und Anwendungen geliefert. Die weltweit einmalig hohe spektrale Auflösung von APEX hat dazu geführt, dass in den kommenden Jahren Testgebiete in Europa und anderen Kontinenten befliegen werden sowie Modelle der Interaktion von Photonen mit Materie kontinuierlich verbessert werden können. Mehr als 300 Jahre nach Newton's Theorie über die Dispersion von Licht, kann sie nun operationell für Umweltbelange ein-

gesetzt werden – und dies «made in Switzerland».

Literatur:

- (1) Jehle, M., Schaepman, M., Hueni, A., Damm, A., D'Odorico, P., Weyermann, J., Kneubühler, M., & Meuleman, K. (2010). APEX – current status, performance and validation concept. In: *Sensors, 2010 IEEE* (pp. 533–537). Waikoloa, HI, USA: IEEE Sensors.
- (2) Schaepman, M.E., Ustin, S.L., Plaza, A.J., Painter, T.H., Verrelst, J., & Liang, S. (2009). Earth system science related imaging spectroscopy – An assessment. *Remote Sensing of Environment*, 113, S123–S137.
- (3) C. Popp, D. Brunner, A. Damm, M. Van Roozendaal, C. Fayt & B. Buchmann (2012). High resolution NO_2 remote sensing from the Airborne Prism EXperiment (APEX) imaging spectrometer. *Atmospheric Measurement Techniques Discussion*, 5, 2449–2486.
- (4) www.apex-esa.org

Michael Jehle
 Michael Schaepman
 Alexander Damm
 Remote Sensing Laboratories
 Universität Zürich
 CH-8006 Zürich
michael.jehle@geo.uzh.ch