Auswirkungen der Abbildungseigenschaften eines Spektrometer-on-Chip Hyperspektral-sensors auf die zu erwartende Datenqualität

Steffen Kuntz, Corneli Keim, Jasper Krauser, Markus Haiml (Airbus),

Silvia Gabari, Michael Schaepman (Universität Zürich)

DEFENCE AND SPACE

Neue Perspektiven der Erdbeobachtung, Köln, 26.06.2018

University of Zurich[UZH]

AIRBUS

Hintergrund

- Die deutsche Folgemission „Next Generation Hyperspectral Instrument - NGHY)“ soll operationell hochqualitative hyperspektrale Daten von der Erdoberfläche für wissenschaftliche, behördliche, öffentliche und kommerzielle Aufgaben bereitstellen
- Für die Umsetzung des NGHY-Projekts wurde im Auftrag des DLR von Juli 2016 bis März 2017 eine erste Missionsanalyse (Phase 0) durchgeführt.
- Da die Instrumentanforderungen von NGHY bezüglich räumlicher und spektraler Auflösung zwischen Multispektral-kameras und Spektrometern liegen, stehen zwei unterschiedliche Konzepte zur Diskussion: ein eher traditionelles „Push-broom Spektrometer“ und ein in neues Instrument-Konzept auf der Basis eines „On-Chip-Spektrometers“.
- Im Rahmen einer Folgestudie wurden
  - Die technische Machbarkeit des erarbeiteten Filterkonzepts näher ausgearbeitet und
  - Die Auswirkungen der speziellen Abbildungseigenschaften eines On-Chip Spektrometers auf die Datenqualität analysiert.

NGHY Instrument

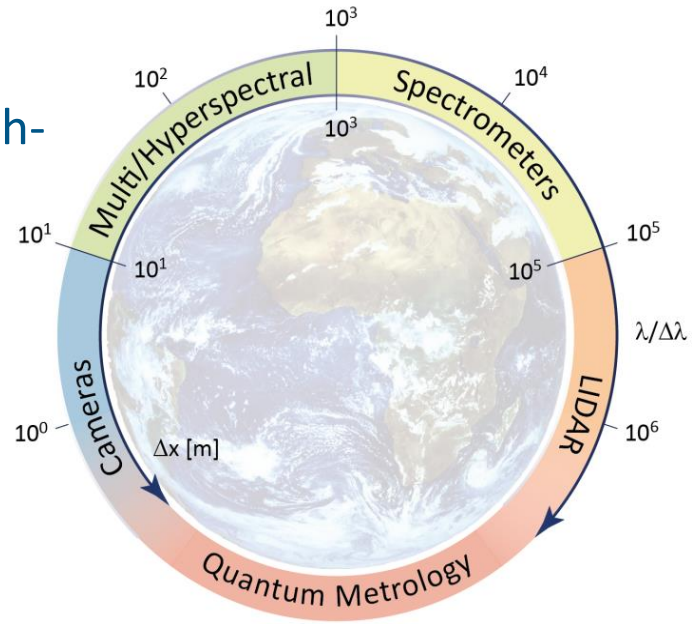
Vergleich mit anderen Hyperspektralmissionen

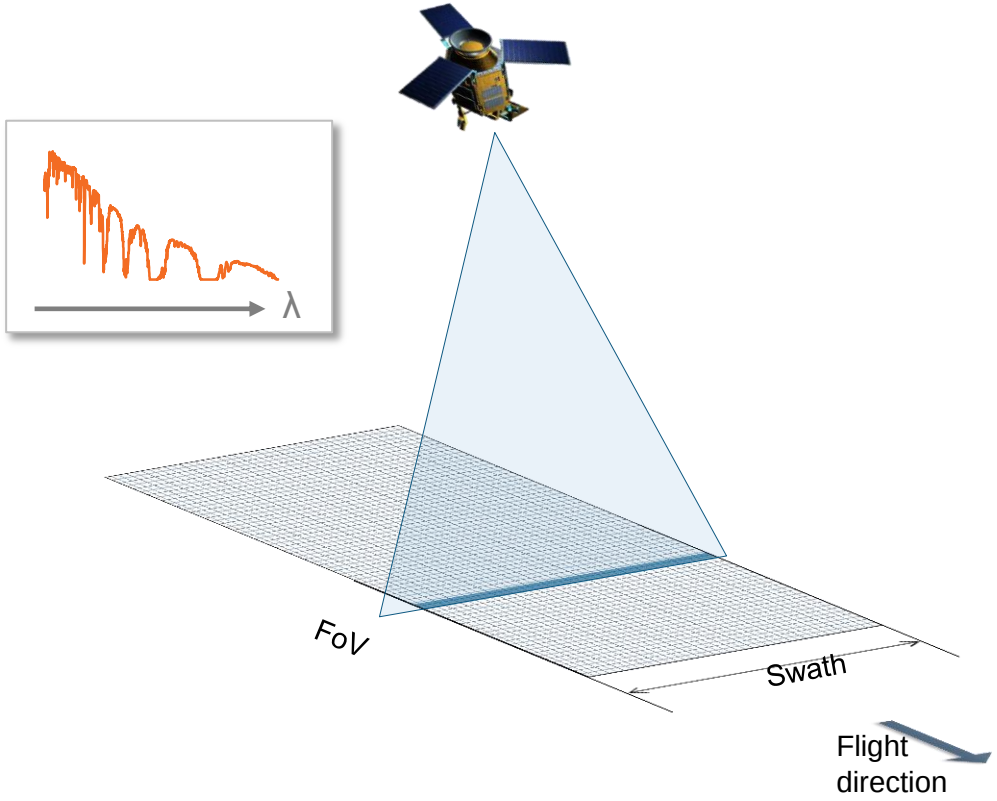
Mission	Next Generation Hyperspectral				EnMap		EO-1		HyspIRI
Agency	DLR				DLR		NASA		NASA
Launch	2025				2018		21. Nov. 2000		≥ 2022
Instrument	Spatial		Mapper		HSI		Hyperion		VSWIR
Instrument Concept	Offner Relay with Curved Prisms / Filter Concept		Convex Grating Spectro / Filter Concept		Offner Prism Disperser		Convex Grating Spectrometer		Offner
Orbit	800km SSO				653 km SSO		705 km		626 km SSO
Swath	> 60 km		> 180 km		30 km		7.5 km		> 145 km
Ground Sampling Distance (GSD)	20 m		30 m		30 m		30 m		60 m
Spectral Channel	VNIR	SWIR	VNIR	SWIR	VNIR	SWIR	VNIR	SWIR	VSWIR
Spectral Range	400 – 1000 nm	1000 – 2500 nm	400 – 1000 nm	1000 – 2500 nm	420 – 1000 nm	900 – 2450 nm	400 – 1000 nm	900 – 2500 nm	380 – 2500 nm
Spectral Sampling Distance (SSD)	10 nm	12 nm	10 nm	12 nm	6.5 nm	10 nm	10 nm		10 nm
Radiometric Accuracy	5%				5%		6%		< 5%
SNR	350 @ 500 nm 150 @ 2200 nm		500 @ 500 nm 200 @ 2200 nm		400 @ 495 nm 180 @ 2200 nm		Dependent on wavelength and input scene		

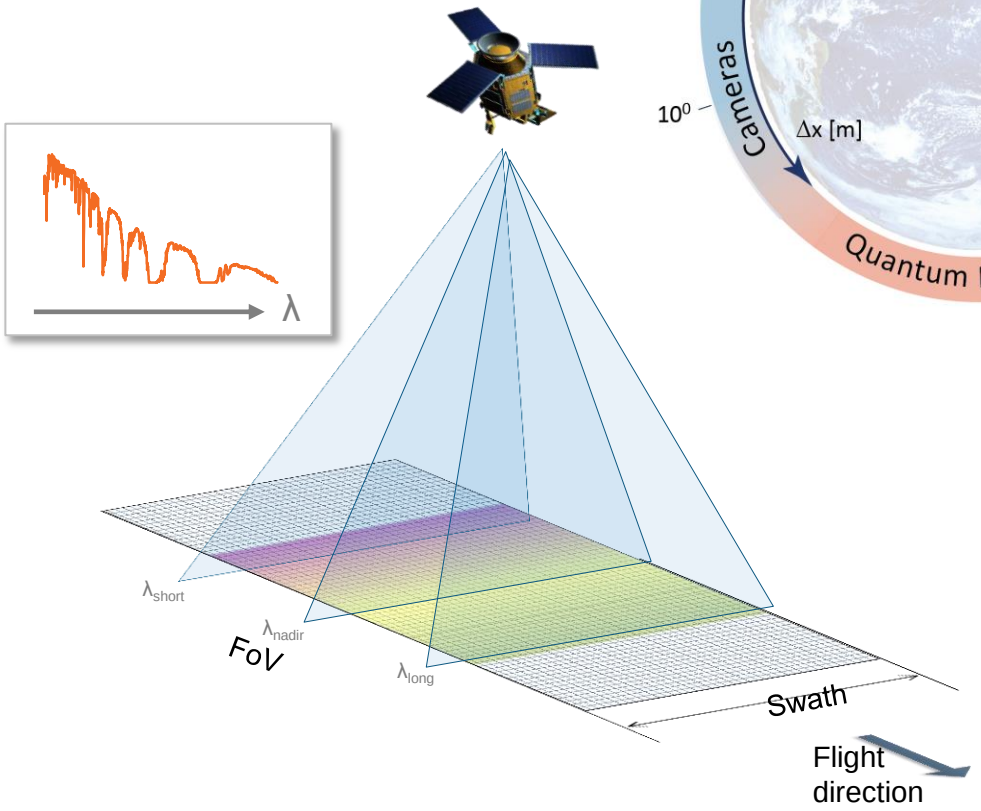
AIRBUS

Spectrometer-on-Chip” versus “Push-broom Spektrometer

Das zukünftige NGHY-Instrument liegt zwischen multispektraler Kamera und hoch-auflösendem Spektrometer

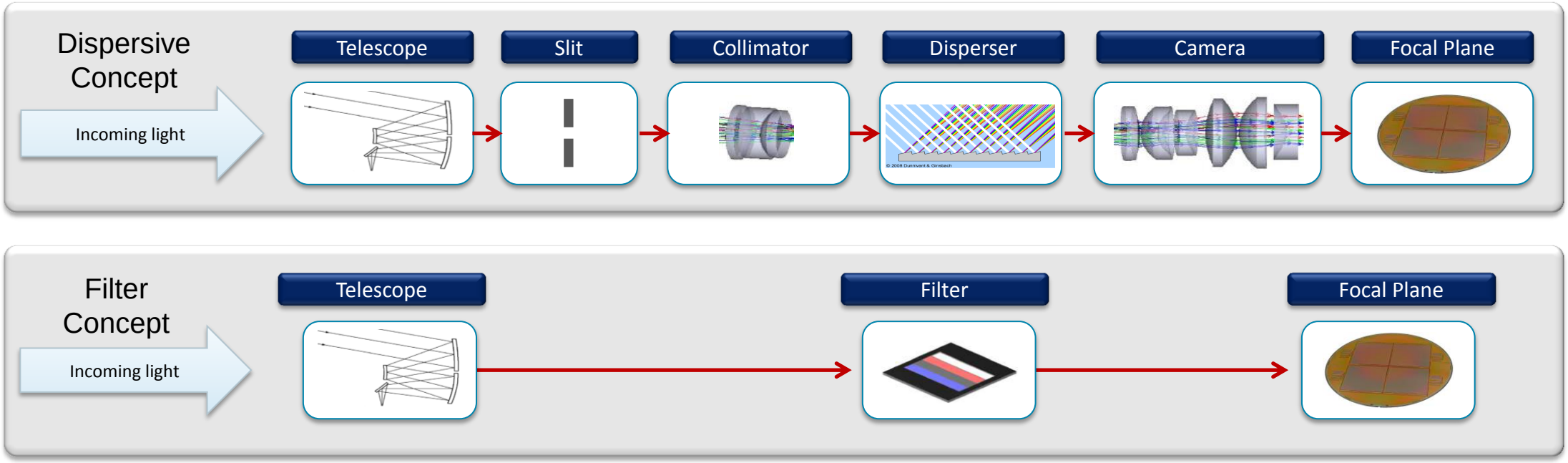






AIRBUS

“Spectrometer-on-Chip” versus “Push-broom Spektrometer”



AIRBUS

Die Vorteile

- Große Schwadbreite und hohe Performanz (sehr gutes SNR)

- Geringere optische Verzeichnung auf der Bildebene (smile & frown)
  - Weniger optische Elemente und damit geringere räumliche Verzeichung
  - Keine spektrale Verzeichnung, da die spektralen Eigenschaften nicht durch ein Detektorgitter entstehen sondern durch ein Bandpassfilter

- Einfachere Konstruktion durch Wegfall der Prismen und damit im Vergleich zu herkömmlichen Spektrometern eine signifikante Reduktion der Masse und des Volumens des Instruments (ca. 30%)

- Kürzere Entwicklungszeiten durch die Verwendung bereits existierender, zertifizierter opto-mechanischer Komponenten

Die Nachteile

- Das Spektrum wird nicht zeitgleich innerhalb einer Scanzeile aufgenommen wie bei einem herkömmlichen Spektrometer sondern ergibt sich durch den Überflug mit einem zeitlichen und räumlichen Versatz.

- Die Untersuchung der Auswirkungen dieses Versatzes auf zukünftige Produkte und die Möglichkeiten von entsprechenden Korrekturverfahren war eines der wesentlichen Ziele dieser Studie

AIRBUS

Untersuchungszweck und Methode

Fragestellung: Wie beeinflusst das neue Aufnahmeverfahren die Analyse von Vegetationsparametern?

Grundlage: simulierte Daten (APEX – Airborne Prism EXperiment), die die erwarteten Effekte eines Spectrometer-on-Chip Instruments reproduzieren

Erhebung des Chlorophyll-Anteils auf der Basis von drei Methoden

- NDVI

$$NDVI = \frac{NIR - VIS}{NIR + VIS}$$

NIR = radiance at 800nm
VIS = radiance at 670nm

- TCARI/OSAVI (Vegetationsindex mit sehr engen Spektralbändern → höhere Sensitivität im Vergleich zu NDVI)

$$\frac{TCARI}{OSAVI} \rightarrow TCARI = 3(R_{700} - R_{670}) - 0.2(R_{700} - R_{550})(R_{700}/R_{670})$$

$$\frac{TCARI}{OSAVI} \rightarrow OSAVI = 1.16\frac{R_{800} - R_{670}}{R_{800} + R_{670} + 0.16}$$

R_{550}, R_{670}, R_{700}, R_{800}= reflectance at 550nm, 670nm, 700nm and 800nm respectively

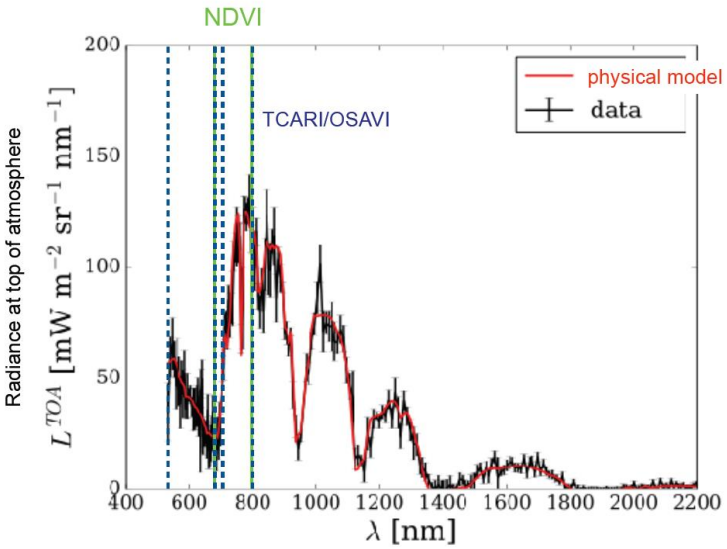
- Physikalisches Strahlentransfermodell zur Herleitung des Chlorophyll-Anteils mittels Inversion wobei das gesamte Spektrum invertiert wird
  - Inversion of the Physical Model $P(\lambda)$ ===> Monte Carlo Markov Chain (MCMC)

observed radiance $L(\lambda)$ $L(\lambda) = P(\lambda, X_{atm}, X_{veg}, X_{obs})$ computed using a physical model P, depending on vegetation variables $Xveg$, atmospheric variables $Xatm$ and other observables $Xobs$ (e.g. soil variables, structural properties…)

-> Chl=chlorophyll content in physical units [µg/cm²]

Sample 769 1680

[Oensingen (Basel), 26.06.2010]

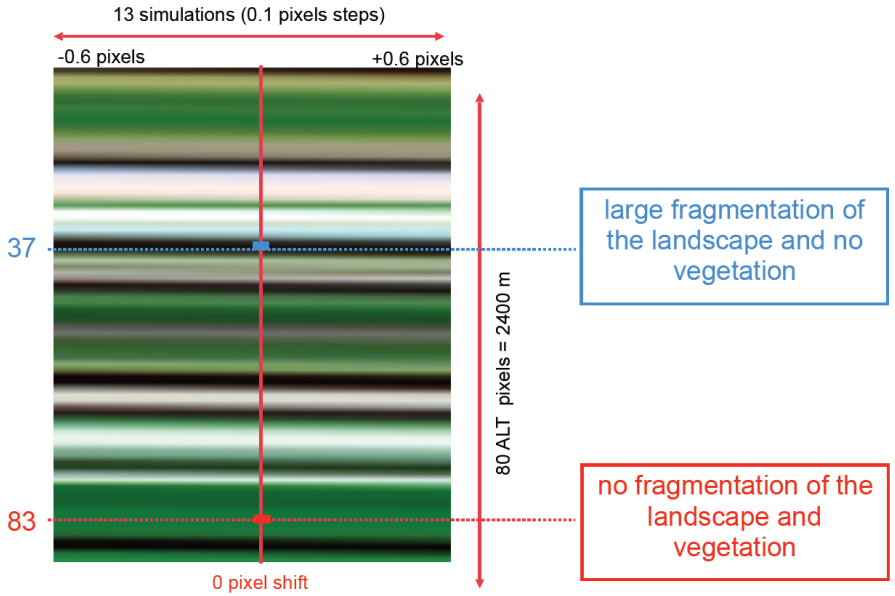


University of Zurich[UZH]

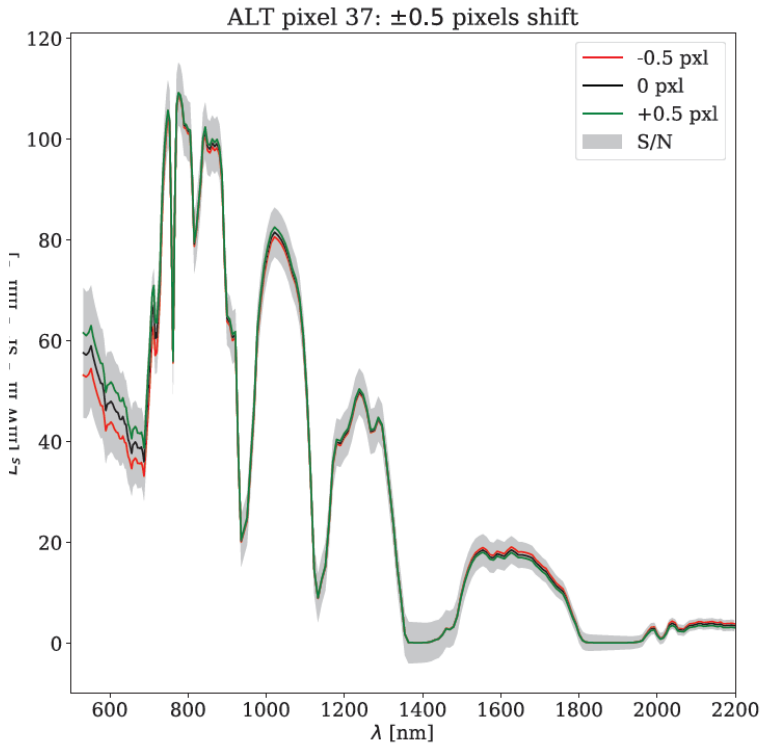
AIRBUS

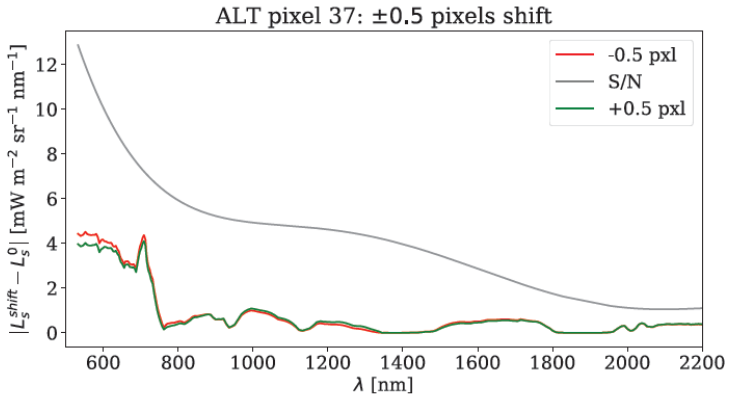
Ergebnisse: Simulierte Daten mit Korrektur und realistischem Fehlerrahmen von ± 0,6 Pixeln

ALT pixel 37: large fragmentation of the landscape and no vegetation



Effect of co-registration on the spectra





the variations in the spectra are smaller than the noise

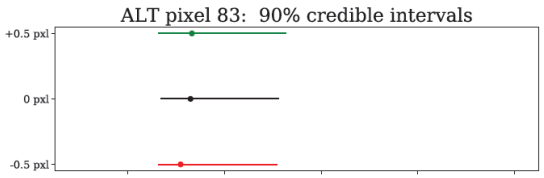
$$N = (S/N \cdot L_s^{-1})^{-1} \ [\mathrm{mW\ m^{-2}\ sr^{-1} nm^{-1}}]$$

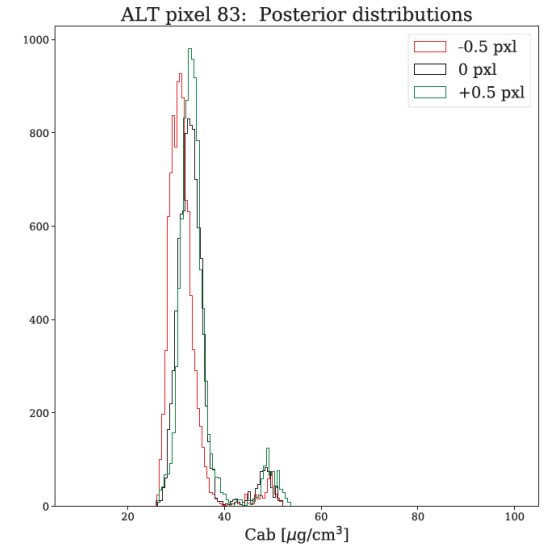
University of Zurich[UZH]

AIRBUS

Ergebnisse: Simulierte Daten mit Korrektur und realistischem Fehlerrahmen von ± 0,6 Pixeln

ALT pixel 83: no fragmentation of the landscape and vegetation

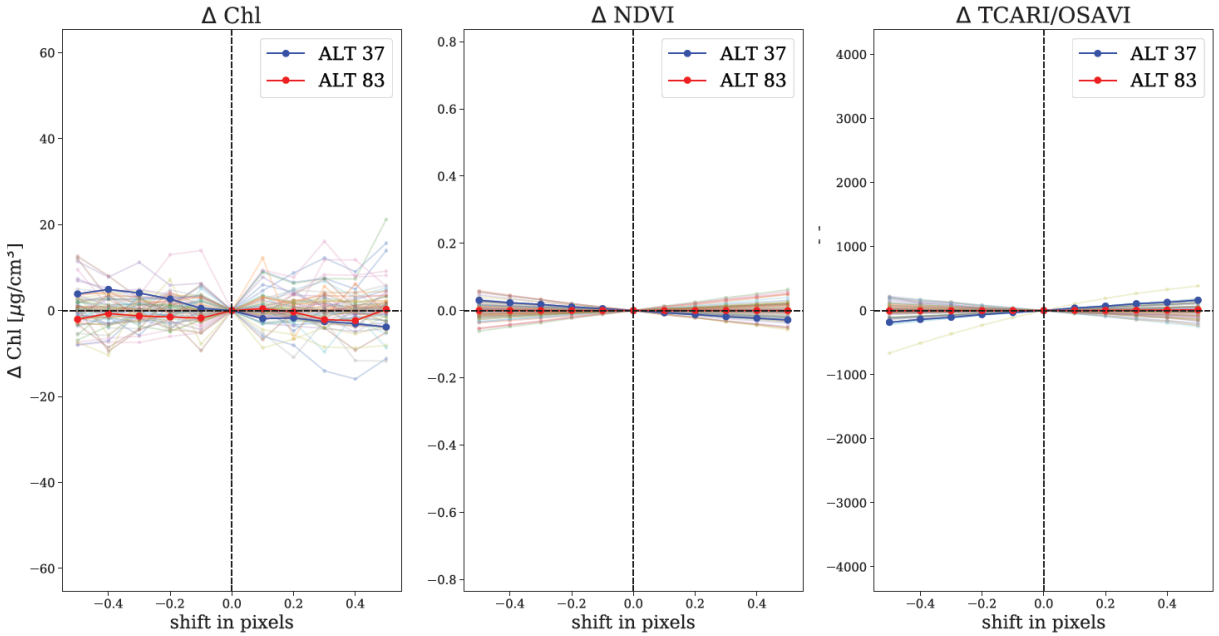




Results for the Chlorophyll content with physical model inversion

the obtained Chlorophyll content is compatible with the 0-shift case (=pushbroom) within the uncertainties

Results: raw data (pixel shift between -0.5 and +0.5 pixels)



ALT pixel 37: large fragmentation of the landscape and no vegetation

ALT pixel 83: no fragmentation of the landscape and vegetation

Small variations in the variables values for shifts between -0.5 and 0.5 pixels

University of Zurich[UZH]

AIRBUS

Zusammenfassung

Ein ganzes Spektrum zu einem bestimmten Zeitpunkt kann nur mit einem herkömmlichen Spektrometer mit komplexer Optik gemessen werden.

Die speziellen Abbildungseigenschaften eines Spectrometer-on-Chip verlangt von zukünftigen Nutzern ein Verständnis der geänderten Aufnahmeeigenschaften und spezielle Auswerteverfahren. Doch lassen die ersten Ergebnisse mit simulierten Daten erwarten, dass ein Spektrometer-on-Chip Instrument nach den notwendigen Korrekturen weitgehend vergleichbare Resultate wie ein herkömmlicher Spektrometer erzielt.

Spectrometer-on-Chip Instrumente sind wesentlich einfacher im Design, sind kleiner und leichter und können damit kostengünstiger gebaut werden. Dies eröffnet neue Möglichkeiten für zukünftige Satellitenmissionen oder für kompakte, leistungsfähige Sensoren für Einsätze mit Drohnen oder aus Flugzeugen.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

AIRBUS