

---

# Werden Kleinsatelliten klassische Erdbeobachtungssatelliten ersetzen?

Michael GREZA<sup>1</sup>, Ludwig HOEGNER<sup>2</sup>, Boris JUTZI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Technische Universität München, München · michael.greza@tum.de

<sup>2</sup>Hochschule für angewandte Wissenschaften, München

## Zusammenfassung

Satellitenbilder bergen in der automatisierten Prozessierung im Vergleich zur klassischen Computer Vision aufgrund der einzigartigen Bildeigenschaften von Erdbeobachtungsdaten spezielle Herausforderungen. Wolkenbedeckung beispielsweise kann die automatische Auswertung erschweren oder sogar unmöglich machen. Darüber hinaus enthalten Satellitenbilder eine große Menge an kleinen und verteilten hochfrequenten Features, die zum Beispiel beim Skalieren zu einer höheren geometrischen Auflösung durch Super Resolution nur schwer zu erhalten sind. Zum Trainieren neuronaler Netze für die vollautomatische Prozessierung von Satellitenszenen werden große Mengen an Daten benötigt. Kleinsatelliten können diese Daten bei vergleichsweise niedrigen Kosten in höherer Frequenz liefern als klassische Erdbeobachtungssatelliten. Wir geben in diesem Beitrag einen Überblick über die Vor- und Nachteile in der Gestaltung von Erdbeobachtungsmissionen mit Kleinsatellitenkonstellationen. Darüber stellen wir ein neuronales Netz zur automatisierten Maskierung von Wolken sowie eines für Super Resolution von Satellitenbildern vor, welche die automatisierte Auswertung von Satellitendaten unterstützen.

## 1 Erdbeobachtung mittels Kleinsatellitenkonstellationen

### 1.1 Gestaltung von Erdbeobachtungsmissionen

Erdbeobachtungsmissionen haben aufgrund ihrer hochentwickelten Sensorik eine hohe Komplexität inne. Dies umfasst Missionsdesign, Satellitendesign und Datenverarbeitung. Für die Umsetzung ist ein iterativer Prozess nötig, bei dem die einzelnen Systemkomponenten sich hochgradig gegenseitig beeinflussen und ein häufiges Restrukturieren des Gesamtsystems erfordern. Zuerst werden die grundlegenden Ziele und Mindestanforderungen der Mission festgelegt. Diese umfassen für Erdbeobachtung (EO) u. a. Sensortyp, zeitliche und räumliche Auflösung sowie nominelle Missionsdauer. Anschließend können geeignete Orbit- sowie Satellitenkonfigurationen entworfen werden. Dabei kommen meist sonnensynchrone Low Earth Orbits zum Einsatz, um eine ausreichende Energieversorgung bei guter geometrischer Auflösung zu gewährleisten. Für das Satellitendesign müssen eine Vielzahl an Subsystemen aufeinander abgestimmt werden, die die Erfüllung der Mission durch die Hauptnutzlast sicherstellen. Unter anderem sind hierfür grundlegend relevante Komponenten das Orbit- und Lageregulierungssystem, Kommunikation und Energieversorgung. Eine Änderung einzelner Komponenten kann weitreichende Folgen für die Gesamtplanung, inklusive Missions- und Orbitdesign, haben.

## 1.1 Differenzierung zu klassischen Erdbeobachtungssatelliten

Kleinsatelliten zeichnen sich im Vergleich zu klassischen EO-Satelliten wie Sentinel-2 neben ihrer geringeren Größe und Masse vor allem durch geringere Kosten für Entwicklung und Raketenstart aus. Trotzdem können Kleinsatelliten die gleiche Art Aufgaben erfüllen, Orbitparameter innehaben oder Systemkomponenten nutzen, wie klassische Satelliten. Die Miniaturisierung bringt jedoch durch den beschränkten Platz eigene Herausforderungen mit sich. Dies betrifft u. a. Genauigkeit und Leistungsfähigkeit der Subsysteme. Eine Möglichkeit diese Nachteile auszugleichen ist der Einsatz von Konstellationen aus mehreren Kleinsatelliten. Klassische EO-Satelliten besitzen ebenso Vorteile gegenüber Kleinsatelliten. Durch die höheren Investitionen sind sie typischerweise mit deutlich leistungsfähigeren und präziseren Instrumenten ausgestattet.

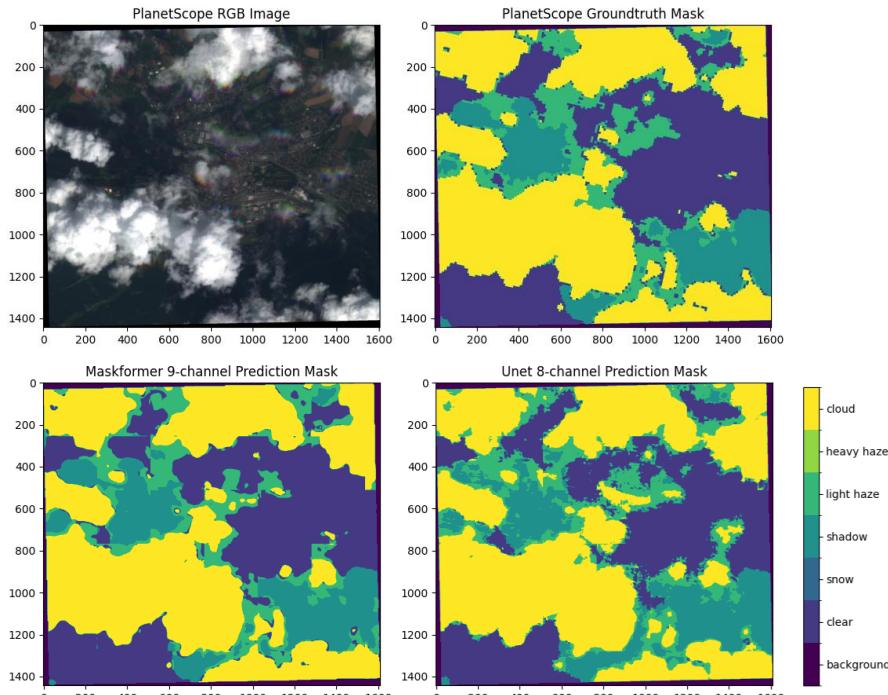


Abb. 1: Eingangsdaten sowie beispielhafte Ergebnisse der neuronalen Netze.

## 2 Bayerisches Satellitennetzwerk CuBy

Mit dem Arbeitstitel „CuBy“ entsteht unter der Federführung des bayerischen Finanzministeriums derzeit eine multispektrale EO-Satellitenmission mit dem Ziel, das Gebiet des Freistaats Bayern mit hoher zeitlicher, geometrischer und spektraler Auflösung kosteneffizient zu erfassen (BAUER et al. 2023). Die Hauptanwendungen liegen in der Agrar- und Forstwirtschaft. Projektpartner sind die TU München mit der Professur für Photogrammetrie und Fernerkundung sowie dem Lehrstuhl für Astronomische und Physikalische Geodäsie, das Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung sowie das Zentrum für Telematik

Würzburg. Die erste Phase umfasst eine Demonstratormission aus fünf 8U-CubeSats. Ihre Nutzlast ist eine Zeilenkamera mit acht Spektralkanälen (450-900 nm) und einer GSD von 4 m. Die nominelle Missionsdauer beträgt fünf Jahre in einem sonnensynchronen Orbit in ca. 470 km Höhe bei einer Wiederholrate von drei Tagen bei gleichbleibender Aufnahmefrequenz.

### 3 Automatisierte Prozessierung von Kleinsatellitendaten

#### 3.1 Wolkenmaskierung

Die Wolkenmaskierung erfüllt in der CuBy-Prozessierungskette zwei Kernaufgaben. Einerseits soll den Nutzern, wie bei vergleichbaren Produkten üblich, eine Wolkenmaske inklusive Bedeckungsgrad zur Verfügung gestellt werden. Andererseits kann die Wolkenmaske verwendet werden, um zu vermeiden, dass das neuronale Netzwerk zur Gebäudedetektion in wolkigen Bereichen falschpositive Gebäudezentren zur automatischen Passpunktgenerierung erzeugt. Zur Segmentierung von Wolken werden ein U-Net sowie ein Swin-Transformer (beide von uns entwickelt) verglichen, die hierfür stabile Ergebnisse liefern. Die mean Intersection over Union des U-Nets beträgt 0,65 und die des Transformers mit neun Spektralkanälen 0,95. Trotz der augenscheinlich großen Differenz erreichen beide Netzwerke vergleichbare qualitative Ergebnisse wie die Referenzdaten (vgl. Abb. 1).



**Abb. 3:** Beispiel für Super Resolution. Oben: niedrig aufgelöste Eingangsszene und Super-Resolution-Ergebnis. Unten: Referenzbild und Differenzbild zwischen Super Resolution und Referenz.

### 3.2 Super Resolution

Gebäudedetektion zur automatisierten Passpunktbestimmung kann in schwach besiedelten Gebieten durch falschnegative oder falschpositive Detektionen zu Problemen führen. Durch die GSD von 4 m bei CuBy sind die Umrisse kleinerer Gebäude teilweise schwer identifizierbar. Um diese Probleme zu verringern, kann das neuronale Netz zur Detektion durch die Nachschärfung der Satellitenbilder mittels Super Resolution unterstützt werden. Das für diesen Zweck von uns vorgestellte Versatile Satellite Imagery Super Resolution GAN (GREZA et al. 2024) zeichnet sich durch zwei besondere Merkmale aus. Das erste ist eine erhöhte Stabilität gegenüber Halluzinationen. Für jede Szene wird ein Referenzbild für einen Featurevergleich verwendet. Das Referenzbild kann von einem beliebigen anderen Sensor kommen und dient nur für einen geometrischen Abgleich, ob in der Super-Resolution-Szene Objekte halluziniert wurden, oder nicht. Das zweite besondere Merkmal von VSISR ist Data Augmentation mittels Mixed-Pixel-Training. Durch die Einführung von Gaußschem Rauschen in den Trainingsdaten wird das GAN robuster gegenüber Artefakten und bleibt radiometrisch konsistent mit dem ursprünglichen Eingangsbild.

## 4 Fazit

Durch die niedrigen Kosten im Vergleich zu klassischen EO-Satelliten ermöglichen Kleinsatelliten auch Universitäten, nicht-Industrieanlagen und mehr Privatfirmen eigene Satellitenprogramme. Obwohl sie die gleichen Aufgaben erfüllen können wie größere Satelliten, ist eine komplett Verdrängung dieser vom Markt nicht zu erwarten. Durch die Miniaturisierung der Komponenten müssen hinsichtlich Genauigkeit und Leistungsfähigkeit bei Kleinsatelliten Abstriche gemacht werden. Diese können teilweise durch den Einsatz von Konstellationen ausgeglichen werden. Ein nicht zu vernachlässigender Aspekt ist, dass die Daten einiger klassischer EO-Satelliten frei zur Verfügung gestellt werden und somit mehr Anwendungen und Forschung ermöglichen. In der Datenverarbeitung entstehen bei Kleinsatelliten durch die geringere Genauigkeit der Sensoren sowie die sehr große Datenmenge neue Herausforderungen, sich durch automatisierte Prozessketten (z. B. Deep Learning) bewältigen lassen.

## Literatur

- BAUER, R. & PAIL, R. & SCHILLING, K. & STILLA, U. & SCHLEDER, D. & DOTTERWEICH, M. & ROSCHLAUB, R. & KLEINSCHRODT, A. & DRASCHKA, L. & GRUBER, T. & ZINGERLE, P. & GREZA, M. (2023): Bayerisches Satellennetzwerk für Fernerkundung und Biomonitoring. In: ZfV-Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, 148, 219-229. doi.org/10.12902/zfv-0436-2023.
- GREZA, M. & INDRADITYA, B. & HOEGNER, L. & JUTZI, B. (2024): GAN-Based Dual Image Super Resolution for Satellite Imagery Decreasing Radiometric Uncertainty. In: ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 10, 155-162. doi.org/10.5194/isprs-annals-X-3-2024-155-2024