

Das Unsichtbare sehen – Wie Radarbilder Wolken durchdringen

Für Erdaufnahmen werden oftmals Kameras auf Satelliten und Flugzeugen eingesetzt. Doch schlechte Wetterbedingungen sowie die Tageszeit können die Qualität der Bilder stark beeinträchtigen. Für solche Bedingungen untersuchen Mitarbeitende des Forschungsprogramms «Aufklärung und Überwachung» von armasuisse Wissenschaft und Technologie eine Lösung. Sogenannte abbildende Radargeräte ermöglichen Bilder der Erdoberfläche auch bei Wolken und in der Nacht. Deshalb ist die Armee an dieser Methode und an den Erkenntnissen von armasuisse W+T sehr interessiert.

Text: Dr. Peter Wellig

SAR-Aufnahme von der Stadt Zug mit dem Forschungssensor MIRANDA-35

Satelliten über der Ukraine

Erinnern Sie sich noch an die plötzliche russische Invasion in die Ukraine Ende Februar 2022? Russische Truppen waren in vielen Grenzregionen in die Ukraine eingedrungen, im Norden aus Weissrussland, im Osten von den Provinzen Donezk und Luhansk und im Süden von der Krim aus. Dabei setzten die russischen Truppen massive Kriegsgeräte wie Panzer ein und es bildeten sich Kolonnen von Fahrzeugen. Um das Land erfolgreich zu verteidigen und die Zivilbevölkerung zu schützen, war die ukrainische Armee zu jedem Zeitpunkt auf Informationen des Nachrichtendienstes angewiesen. Solche Informationen betrafen beispielsweise die aktuellen Standorte, Verschiebungen und Truppenstärken des Gegners und basierten insbesondere auf ausgewerteten Satellitenbildern von befreundeten Staaten.

«Doch ausgerechnet Anfang März 2022 lag eine grosse Wolkenschicht über weiten Teilen der Ukraine. Der Blick nach unten auf die Erdoberfläche war für mehrere Tage nicht möglich.»

Auf den visuellen und infraroten Satellitenbildern wurden nur Wolken dargestellt. Doch selbst bei wolkenfreiem Himmel zeigten visuelle Satellitenbilder abends und nachts nicht, wohin sich die Truppen verlagert haben. Wie kann man trotz Dunkelheit oder Wolkenschicht herausfinden, wo sich militärische Truppen befinden?

Radarbild der Erdoberfläche

Die Lösung sind Bilder von Spionage- und kommerziellen Satelliten, die Radarwellen verwenden. Denn die elektromagnetischen Radarwellen durchdringen problemlos Wolken, Dunst und Rauch. Und dies auch in der Nacht. Deshalb generieren diese sogenannten abbildenden Radarsysteme auch bei Wolken und in der Nacht Aufnahmen der Erde aus weiter Ferne. Doch wie funktionieren diese Satelliten im Detail?

Im sogenannten Streifenmodus ist während der Bildaufnahme die Radarantenne auf dem Satelliten seitwärts zur Flugrichtung gerichtet und zeigt nach unten auf die Erdoberfläche. Indem sich der Satellit vorwärtsbewegt und seine Antenne seitlich ausgerichtet ist, entsteht ein Aufnahmestreifen parallel zu seiner Flugbahn. Noch weiter verbessert werden kann die Bildauflösung in einem anderen Aufnahmemodus, dem sogenannten Spotlight Modus. Bei diesem nimmt der vorbeifliegende Radarsatellit nicht einen Streifen auf, sondern beobachtet ein Gebiet über eine längere Zeit, das jeweils fünf Kilometer lang und breit ist. Das erreicht der Satellit, indem er den Antennenstrahl lenkt und die Ausrichtung auf das Gebiet nachführt.

In der englischen Sprache werden abbildende Radarsysteme Synthetic Aperture Radar genannt – kurz SAR. Das Radarbild oder eben SAR-Bild erzeugt eine zweidimensionale Darstellung eines Geländes und ähnelt auf den ersten Blick einer Fotoaufnahme der Erde. Doch das täuscht. Ein heller Bildpunkt deutet an, dass ein grosser Anteil der ausgesendeten Radarwelle zurückgestrahlt wurde, ein dunkler hingegen entspricht einer schwachen Radarrückstrahlung. Somit stellt das SAR-Bild die Rückstreuung

Aufnahmeprinzipien – Streifenmodus und Spotlight-Modus

«Synthetic Aperture Radar (SAR)»-Geräte werden auf Flugzeugen, Helikoptern oder Satelliten integriert. Die Antennen sind seitwärts und schräg nach unten ausgerichtet. Im sogenannten Streifenmodus erstellt das Radargerät parallel zur Flugrichtung einen Aufnahmestreifen der Erdoberfläche. Im Spotlight-Modus hingegen werden Aufnahmen eines Gebietes mit quadratischer Fläche gemacht. Dies wird durch Lenkung des Antennenstrahls und Fokussierung auf das überfliegende Gebiet ermöglicht. Der Spotlight-Modus erreicht eine bessere Bildauflösung als der Streifenmodus, allerdings ist die Flächenleistung kleiner.

der Radarwellen von der Erdoberfläche für eine bestimmte Abbildungsgeometrie sowie für die gewählten Radarparameter dar. Deshalb benötigt jemand, der diese Bilder auswerten will, gute Kenntnisse zu Streumechanismen und Radargrundlagen. Interessant ist, dass durch den Vergleich von mehreren SAR-Bildern kleinste Veränderungen auf der Erde erkannt werden können. Gar im Millimeterbereich berechnete die Schweizer Firma sarmap SA aus Caslano Veränderungen von Staudämmen. Und das ist doch sehr erstaunlich, wenn man an die grosse Distanz von 700 Kilometern vom Satelliten zur Erde denkt.

Aufklärungsbilder bei jedem Wetter

Auch die Schweizer Armee hat Interesse, bei jedem Wetter und zu jeder Tageszeit aufzuklären. Deshalb ist sie an eigenen SAR-Systemen auf Drohnen und Flugzeugen sowie an entsprechenden Satellitenbildern interessiert. Allerdings stellen sich viele offene Fragen zu dieser Technologie. Zum Beispiel, ob sich die SAR-Technologie für das Schweizer Gelände überhaupt eignet. Denn die beste Bildqualität erreicht ein SAR-System bei Aufnahmen von einem flachen Gelände. Hügel und Gebirge hingegen erzeugen auf den SAR-Bildern störende Abbildungseffekte, was die Interpretation der Bilder erschwert. Sind SAR-Systeme auch dazu geeignet, ein Gebiet stundenlang zu überwachen? Mit Videokameras auf Flugzeugen und Drohnen ist die Überwachung eines Gebiets bereits seit Jahren möglich, sofern keine Wolken vorhanden sind. Nämlich durch Kreisflüge und indem die Kameras auf das Gebiet zeigen und nachgeführt werden. Dies im Gegensatz zu SAR-Systemen. Sie wurden für Aufnahmen von Längsstreifen und nicht für Kreisflüge entwickelt. Neue Fortschritte in der Antennentechnologie und beim Generieren der Bilder erlauben jedoch auch Aufnahmen bei Kreisflügen. Deshalb sind seit einiger Zeit auch Überwachungsmissionen mit SAR-Systemen auf bemannten Flugzeugen sowie Drohnen möglich. Zusätzlich lassen sich diese grundsätzlich 2-dimensionalen Abbilder auch mit Informationen zur dritten Dimension, der Höhe, ergänzen. Mit dieser Information könnten beispielsweise Radarbilder von urbanen Szenen besser interpretiert werden. Technisch realisieren lässt sich dies, indem mehrere Antennen zum Einsatz kommen. So zeigen Forschungsergebnisse zu 3D-SAR das Potenzial von 3D-Radarbildern auf.

Vier Antennen erkennen kleinste Objekte

Der Armeestab, das Kommando Operationen und wir von armasuisse W+T haben das Potenzial, aber auch die Komplexität sowie die Risiken der SAR-Technologie erkannt. Deshalb verfolgen und beurteilen wir zusammen mit Partnern die neusten Entwicklungen.



Foto des Leichtfliegers Delphin auf dem Flugplatz in Grenchen. Das Forschungsgerät MIRANDA-35 ist in dem weissen Pod unterhalb des rechten Flügels integriert.



Das Forschungsgerät MIRANDA-35 wird von einer Bodenstation aus gesteuert. Hierzu dient eine Funkdatenverbindung.

Beispielsweise führen wir mit dem Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR aus Deutschland Untersuchungen zum Forschungsgerät MIRANDA-35 durch. Dieses Forschungsgerät erlaubt uns zu testen, wo SAR-Systeme in Zukunft zum Einsatz kommen könnten. So können wir auf alle seine Messdaten und Zwischenresultate zugreifen, was bei einem eingeführten militärischen System in der Regel nicht möglich ist.

Das Radarsystem MIRANDA-35 ist mit vier Empfangsantennen ausgestattet. Damit lassen sich vier SAR-Bildstreifen mit einer Bildpunktauflösung von aktuell zehn Zentimetern aufnehmen. Das heisst: wir können zwei Objekte am Boden, die mehr als zehn Zentimeter auseinanderliegen, klar unterscheiden. Diese Auflösung ist im Gegensatz zu der Auflösung von visuellen

Kameras unabhängig von der Distanz. Das heisst, die zehn Zentimeter Auflösung lassen sich bei einer beliebigen Flughöhe erreichen.

Äusserst anspruchsvoll ist es, aus den empfangenen Radarechos ein Bild zu generieren. Würde man lediglich die Radarechos in einem Bild darstellen, liesse sich nur ein schwarzes Bild mit einzelnen weissen Streifen erkennen. Das wäre also ein Bild ohne Nutzen. Um ein Ziel am Boden trotzdem in einem Bild zu erkennen – etwa ein Fahrzeug – müssen Hunderte oder gar Tausende von Radarechos mit speziellen Algorithmen weiterverarbeitet werden. Wie man solche Radarbilder generiert, wissen etwa Fachleute am Geographischen Institut der Universität Zürich, welche bereits MIRANDA-Daten zu einem Bild verarbeiteten.



Während einer SAR-Aufnahme fuhren Mitarbeiter von W+T einen Lastwagen, der mit Messgeräten und sogenannten Radarreflektoren ausgerüstet war. Damit konnte überprüft werden, ob die Geschwindigkeiten und Fahrtrichtungen des Lastwagens korrekt durch das Forschungsgerät gemessen wurden.

Hält die SAR-Technologie, was sie verspricht?

Zur Qualitätsanalyse und um die Grenzen von neuen Anwendungen zu untersuchen, bauten wir von armasuisse W+T und der Universität Zürich spezielle Messanordnungen in den überflogenen Testgebieten auf. Beispielsweise verteilten wir sogenannte Radarreflektoren am Boden, um die Qualität der Bilder zu testen. Bei den Radarreflektoren ist bekannt, wie viele Anteile der Radarwellen zurückgestrahlt werden. Basierend auf diesen bekannten Eigenschaften berechneten wir, wie hell der entsprechende Bildpunkt auf dem Radarbild erscheinen sollte. Durch den Vergleich des theoretischen Wertes mit dem gemessenen SAR-Bildpunkt konnten wir die Qualität des SAR-Bildes und somit die des Gesamtsystems abschätzen. In einem weiteren Versuch statteten wir Fahrzeuge mit Radarreflektoren und GPS-Empfängern aus. Damit beurteilten wir, wie gut die automatische Erkennung von bewegten Zielen war und ob die Geschwindigkeit der Fahrzeuge korrekt gemessen wurde, was in der Tat der Fall war. Auch testeten wir die Möglichkeiten der SAR-Technologie bis an ihre Grenzen. Zum Beispiel überprüften wir, ob Menschengruppen oder sogar einzelne Menschen auf den SAR-Bildern zu erkennen sind. Der Mensch streut im Gegensatz zu einem Fahrzeug nur einen kleinen Anteil der Radarwellen zurück. Aber auch dies liess sich messen.

Elektronische Kriegsführung auch bei Radarsatelliten

Kommen wir zum Schluss auf die SAR-Satellitenbilder der Ukraine zurück. In den Monaten vor der russischen Invasion wurde der europäische Radarsatellit Sentinel-1A bei Aufnahmen des Grenzgebietes zwischen Russland und der Ukraine gestört. Das heisst, der Satellit wurde bewusst mit einer elektromagnetischen Strahlung vom Boden aus bestrahlt. Das bedeutete, dass die SAR-Bildaufnahmen des überflogenen Gebietes nicht verwertbar waren. Unser Forschungspartner sarmap SA und unsere Fachexperten bei armasuisse W+T untersuchen nun, ob sich diese starke Störung aus den Radarechosignalen filtern lässt und ob trotz Störung eine brauchbare Aufnahme dieses Abschnitts generiert werden kann. Diese Untersuchungen erlauben uns zu beurteilen, inwiefern generische Störungen in SAR-Geräten unterdrückt werden können.

Eckdaten des Forschungsgerätes MIRANDA-35

Betriebsfrequenz: 35 Gigahertz

Bildauflösung in Entfernungsrichtung:
10 cm

Flughöhe über Boden bei Aufnahme:
600 m – 3000 m

Anzahl Empfangskanäle: 4

Flugplattformen: DA42 CENTAUR
von armasuisse und Delphin von
Fraunhofer FHR

Forschungspartner: Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR, Universität Zürich, armasuisse Kompetenzbereich Luftfahrtssysteme



DR. PETER WELIG

Leiter Forschungsprogramm

Seit 2008 leitet Dr. Peter Wellig bei armasuisse Wissenschaft und Technologie das Forschungsprogramm Aufklärung und Überwachung. Er zeigt in dem Forschungsprogramm neue Möglichkeiten zur Informationsbeschaffung auf, beispielsweise für die Luftraumüberwachung, Bodenaufklärung oder für die wetterunabhängige Bildaufklärung. Herr Wellig ist promovierter Elektroingenieur ETH mit Weiterbildungen in Projekt- und Forschungsmanagement. Er ist seit dem Jahr 2016 Vertreter der Schweiz in dem Sensor- und Elektronik-Panel der Forschungsorganisation der NATO, bei der die Schweiz im PfP-Mandat partizipiert.