

# Monitoring mit Satellitenradar – leicht gemacht: Kontinuierliches, vollautomatisches und cloud-basiertes Setzungs-Monitoring unter Verwendung von Radarsatelliten-Information. Praxisrelevante Anwendungen

DR. HORST HARBAUER

Automatisierte Interpretationen, die auf Analysen aus regelmäßigen Aufnahmen durch Radar-Satelliten und nutzungsgerechte Ergebnisdarstellung basieren und die als Webdienst zur Verfügung stehen, vereinfachen die Nutzung von Satellitenradardaten in Bezug auf Setzungs-Monitoring. Durch automatisierte Prozessketten in Cloud-Umgebungen werden die Ergebnisse aus Setzungsanalysen, die auf Satellitenradar basieren, regelbasiert prozessiert, interpretiert und aufbereitet. Das Ergebnis stellen einfache „Information as a Service“ und Dashboards dar; die Nutzung und Interpretation werden signifikant vereinfacht. Hierdurch werden neue Anwendungssegmente und Nutzungen von Setzungsanalysen, die auf Radarsatelliten basieren erreicht.

**Schlüsselwörter** – Monitoring, Satellitenradar

## 1. Einleitung

Gleich vorab: Dieser Beitrag legt den Fokus nicht auf technische bzw. wissenschaftliche Details der Interferometrie-Algorithmen bzw. der hieraus abgeleiteten MultiTemporal InSAR, bzw. Persistent Scatterer Interferometrie (PSI) Technik. Es wird aufgezeigt, wie ein Satelliten-Monitoring unter Nutzung der genannten Technologien für eine breitere Zahl von Anwendungen bereitgestellt und genutzt werden kann. Der Titel „leicht gemacht“ klingt mit Absicht etwas provokativ. Nichtsdestotrotz wird hier dargelegt, welche Hindernisse bzw. Randbedingungen bisher für eine breite Verwendung vorlagen und durch welche Veränderungen sich diese Schwierigkeiten zum Positiven veränderten.

Das Thema Messen und Monitoren mit Satellitenradar (Persistent Scatterer Interferometry, Multi-Temporal DInSAR, etc.) hat sich in den vergangenen ca. 15 Jahren stark entwickelt: Gestartet mit der „wissenschaftlichen Erfindung“ durch Ferretti, Rocca et al. an der Universität Mailand, dann weiter über viele wissenschaftliche Untersuchungen und Projekte zur Auslotung, Verfestigung und Erweiterung dieser Technologie. Heute ist die Technik global auf breiter Basis etabliert und akzeptiert, wenngleich das Know-how selbst noch sehr dünn verbreitet ist. Die meisten Projektanwendungen in der vergangenen Zeit erfolgten als Studien mit statischen Projekt-Ergebnissen. Satellitenaufnahmen wurden in einem Projekt ausgewertet und das Ergebnis in einem (Papier)-Bericht dokumentiert. Dieses Vorgehen soll deshalb mit dem Begriff „statisch“ versehen werden, da die Ergebnisse selbst kein

Fortschreiben erleben. Im Folgenden wird auch dargelegt, wie sich ein dynamisches Monitoring darstellt.

Aus wirtschaftlicher Sicht steht das Thema Satelliten-Monitoring „noch“ sehr am Anfang. Schätzungsweise wird daraus derzeit ein globaler Umsatz von 30-50 Mio. EUR erwirtschaftet; aber es bestehen große wirtschaftliche Potenziale: Sicherlich ist es nicht vermessen, wenn man sich ein erreichbares wirtschaftliches Zielpotential mit Umsätzen von mehreren hundert Millionen EUR Umsatz vorstellt. Ein Beleg hierfür stellt die Tatsache dar, dass es auch durch diverse Finanzinvestoren „entdeckt“ wurde, die schon Millionenbeträge in den Aufbau von entsprechenden Vermarktungs-Firmen investiert haben. Diese Investoren machen das nicht als Spaß, sie erwarten sich sehr große Hebel und positive Umsätze!

## 2. Randbedingungen und Verbreitungs-„Hindernisse“

Welche Voraussetzungen und Randbedingungen benötigt es zu einer großen Verbreitung und Nutzung? Als Kernsatz vorab: Für einen wirtschaftlichen breiten Erfolg ist es immer notwendig, die Nutzungsvorteile klar aufzeichnen zu können. Zudem müssen die Kosten von derzeitigen bestehenden Methoden klar unterboten werden, weitere Zusatznutzen aufgezeigt oder die bisherigen Ansätze komplett verändert werden: Das Schlagwort in diesem Zusammenhang lautet „disruptive Veränderung“. Ein gutes Beispiel hierzu ist eine Studie in den Niederlanden, gefertigt von der European Association of Remote Sensing Companies (EARSC) gemeinsam mit dem Unternehmen SkyGeo. In der Studie vom Mai 2016 wird festgestellt, dass der Einsatz von Radarsatelliten-Monitoringstechniken Millionen EUR von Kostenvorteilen allein für die Niederlande erbringen kann. Wenn die Technikkosten hoch sind, bedarf es sehr hoher Nutzenvorteile, um die Kosten zu begründen. Diese „Binsenweisheit“ definiert die Breite der Nutzung. Wenn also die Kosten der Erstellung und Bereitstellung des Monitorings stark reduziert werden, und die Nutzungsvorteile klar herausgearbeitet sind - sprich die Interpretation der Berechnungsergebnisse für unterschiedliche Segmente leicht(er) gemacht wird - dann steigt das Geschäfts-Potenzial und die Verbreitung stark an.

### 2.1. Verfügbarkeit und Kosten von Radarsatellitendaten

Über die letzten Jahre hat sich das Angebot von Radarsatelliten und Anbietern ausgeweitet, insbesondere was die zivile Nutzung angeht. Die Wiederholrate der Befliegungen (in Tagen) hat sich hierbei signifikant reduziert: Waren es bei ERS noch 35 Tage, erreichen wir mit dem Sentinel-1 (a und b) schon (bzw. nur noch) sechs Tage Wiederholrate! Und das wird sich weiterentwickeln: Es gibt Planungen von Radarsatelliten mit Tagesaktualität, und sogar noch darüber hinaus. Ein neuer Provider, der STÜNDLICHE Aufnahmen verspricht, hat im Jahr 2018 damit begonnen, Satelliten im Orbit zu platzieren. Wir bewegen uns also stark in Richtung Nahe-Echtzeit. Diese gesteigerten Aktualitäten erfordern entsprechende (automatisierte) Prozesse, um die Aktualität schnell umzusetzen und zur Verfügung zu stellen. Hierzu später mehr.

Ein Wort zu den Kosten. Ein Stack/Stapel von Radaraufnahmen war bzw. ist nicht günstig. Private Anbieter, die gute Qualität liefern, verlangen hierfür entsprechende Summen. Das stellt natürlich eine gewisse Hürde in der Vermarktung dar. Hier stellt die europäische Copernicus-Initiative mit dem Sentinel-Satellitenprogramm einen „Game Changer“ dar: Die gewonnenen Daten können kostenfrei von dem ESA-Hub bezogen werden. Das ist eine drastische Veränderung mit großen Auswirkungen auf die Geschäftsmodelle der anderen (privaten) Anbieter.

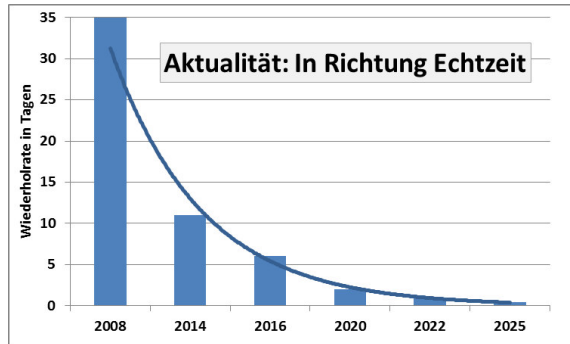


Abbildung 1: Trend bei den Satelliten-Wiederholraten

## 2.2. Verfügbarkeit und Auswerte-Algorithmen (Software)

Die interferometrische Auswertung der Radar-Szenen mit multitemporalen DInSAR Analysemethoden (z.B. PSI) ist sehr komplex und benötigt aufwendige Spezialsoftware. Einige wenige kommerzielle Firmen bieten Software-Lösungen für die Auswertungen an. Forschungsinstitute und Firmen haben darüber hinaus eigene Software-Lösungen entwickelt, die meist über Projekte verrechnet werden, was für eine breite Nutzung eine gewisse Kostenhürde darstellt. Hinzu kommt dann noch die Know-how-Hürde. Die Cloud-Technologie erlaubt es, komplizierte Algorithmen (wie die gerade beschriebenen)

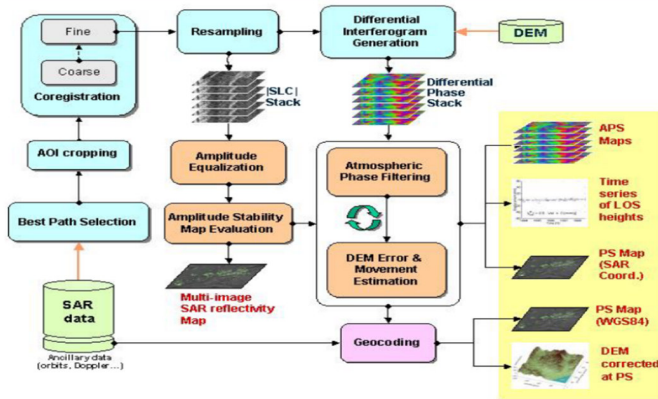


Abbildung 2: Flowchart SPINUA Prozess-Methodik (Quelle: Planetek Italia s.r.l.)

als automatisierte Prozessketten zu nutzen, verknüpft mit den wichtigen erforderlichen Vorprozessen (Download, QS etc.) und den Nachprozessen zur Aufbereitung und Präsentation. Diese Automatisierung erlaubt es auch, die Ergebnisse fortlaufend in Form von Webservices zur Verfügung zu stellen. Das stellt die Basis zur Bereitstellung von dynamischem kontinuierlichem Monitoring dar. Neue, regelmäßig gewonnene Aufnahmen werden automatisch geladen, automatisch prozessiert, im gewünschten

Zeittakt anwendungsspezifisch aufbereitet und den Anwendern/Nutzern zur Verfügung gestellt. Der Prozess lässt sich damit vereinfacht zusammenfassen:

- *Schritt 1:* Radaraufnahmen von Satelliten werden automatisiert ausgewählt und geladen.
- *Schritt 2:* Aufbereitung und Prozessierung erfolgt automatisiert in Cloud-Umgebung.
- *Schritt 3:* Ergebnisse werden aufbereitet zur Verfügung gestellt.

## Cloud-based infrastructure for data processing

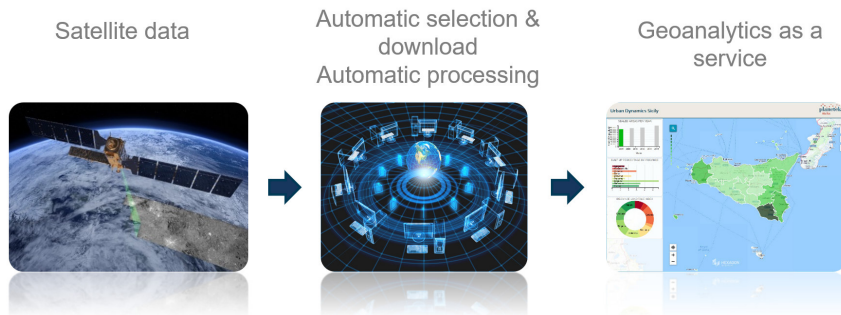


Abbildung 3: Cloud-basierte Prozesskette

Diese Prozesse liefern dynamische, fortlaufend aufgefrischte Ergebnisse. Das verändert das Geschäftsmodell: Anstatt Kauf von Projekten, Software, Dienstleistungen etc. wird nur die Nutzung des Dienstes für einen Zeitabschnitt abgerechnet (Subskriptions-Modell).

IT-technisch gesprochen werden die Dienste „Infrastruktur as a Service“ (keine eigenen Rechner), „Platform as a Service“ (Applikationen und Workflows erfolgen in der Cloud) und „Software as a Service“ (Berechnungen erfolgen in der Cloud) genutzt. Durch den gezielten Einsatz dieser Technologien werden dynamisch, regelmäßig und automatisiert Berechnungsergebnisse zur Verfügung gestellt: Dynamisches Monitoring wird möglich.

### 2.3. Verfügbarkeit von Hardware-Umgebungen für die Berechnung

Das Cloud-Computing erlaubt es, sehr große und performante Computerumgebungen sehr flexibel und dabei relativ kostengünstig zur Verfügung zu stellen. Nur wenn die Ressourcen benötigt werden, werden die genutzte Zeit und die genutzten Ressourcen auch abgerechnet oder es wird hierfür eine Nutzungspauschale verrechnet (verbunden mit Software Plattformen „Platform as a Service“). Werden Softwareanwendungen genutzt, wird daraus „Software as a Service“.

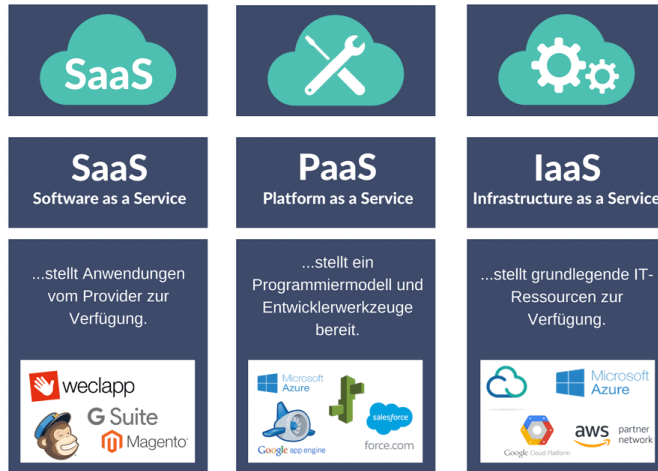


Abbildung 4: Stufen von IT-Services

Für das Thema Setzungs-Monitoring bedeutet dies, dass diese Berechnungen extrem schnell prozessiert werden. Ergebnisse sind in sehr kurzen Zeiträumen, bis zu wenigen Minuten, verfügbar (anstatt Stunden und Tagen). Durch die beschriebenen Cloud-Umgebungen entfallen eigene Hardware-Umgebungen. Aufgrund der Datenvolumina und doch recht aufwändiger Berechnungen sind/waren erhebliche Rechner-Ressourcen notwendig.

#### 2.4. Know-how zum Bearbeiten und zum Interpretieren in Bezug auf spezifische Nutzungsfälle

Der letzte Veränderungsschritt ist die Unterstützung in der Interpretation der Setzungsanalyse-Ergebnisse. Nicht (nur) die (Roh)-Ergebnisse selbst werden geliefert/genutzt, sondern die aufbereiteten, interpretierten Ergebnisse und diese als nutzungsspezifisch veredelte Information. Auch das folgt dem allgemeinen IT-Trend „Information as a Service“ (vgl. Abb. 5).

Die gewonnenen Ergebnisse (Millionen von Punkten mit Zeitfolgediagramm-Datensätzen) sind nicht einfach zu interpretieren. Das Ausfiltern, Analysieren und Interpretieren in einer Weise, dass nur die entscheidenden Ergebnisse herausgearbeitet werden, lässt sich jedoch industrie- und anwendungsspezifisch automatisieren. Weiter vereinfacht wird die Interpretation, wenn die Daten mit weiteren zusätzlichen Informationen „verschnitten“ werden oder/und validiert oder/und klassifiziert oder/und aggregiert usw. Durch diese Schritte werden leichter interpretierbare Ergebnisse generiert, die dann selbst auch wieder als dynamische Ereignisse dienen können. Als Beispiel sei hier die Alarmgebung genannt oder die Integration in weitere (bestehende) Anwendungsumgebungen (SAP Asset Management, Arbeitsauftragsworkflows oder andere).

Einzelbausteine dieser Prozesskette beinhalten bekannte Bausteine und Begriffe aus der IT-Welt: Deep Learning, Klassifikationen, Verschneidungen, Cube Prozessierungen, Change Detection Interpretation und weitere mehr. Diese Bausteine werden je nach Anwendungsfall genutzt und prozessiert. Durch das Zusammenfügen von Information aus diversen Quellen (als Ergänzung zu den Setzungs-Ergebnissen) entsteht intelligente Information. Diese wird per Webservice ausgeliefert: Ergebnis: „Information as a

### Moving From a Project-Based to a Flexible Architecture (SOA)

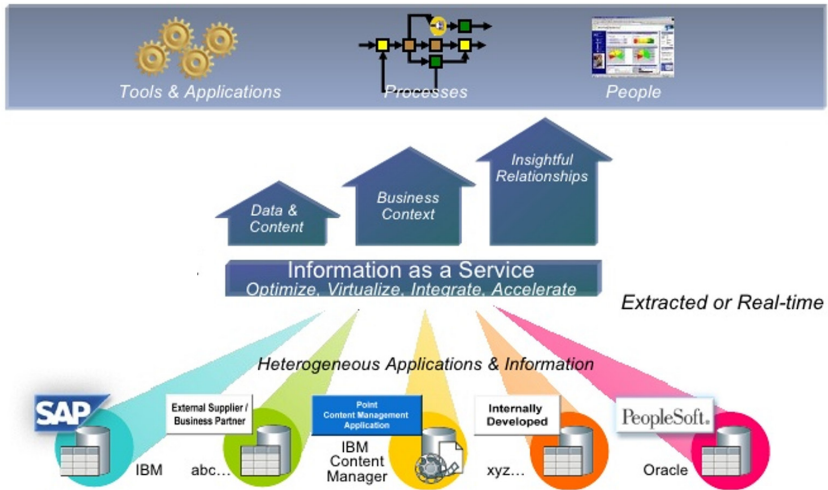


Abbildung 5: „Information as a Service“ (Quelle: IBM)

### Automatisierte Prozessketten

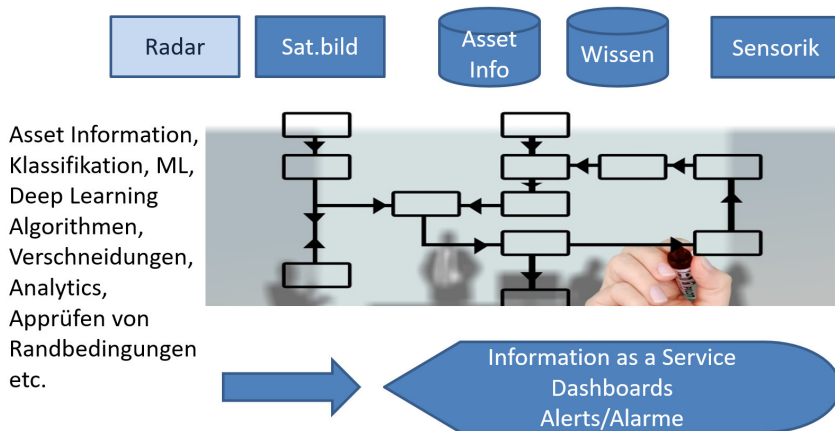


Abbildung 6: Interpretations-Unterstützung

Service“.

Einfaches Beispiel: Die interpretierten Ergebnisse werden nur mit der z.B. baulichen Infrastruktur verschnitten, die es zu analysieren bzw. monitoren gilt: Das Ergebnis der Verschneidung sind einfach zu interpretierende und direkt auf die Anforderung zugeschnittene Dashboards, die ohne Ausbildung und Vorkenntnis zu nutzen sind.

### Rheticus Displacement Webservice Workflow

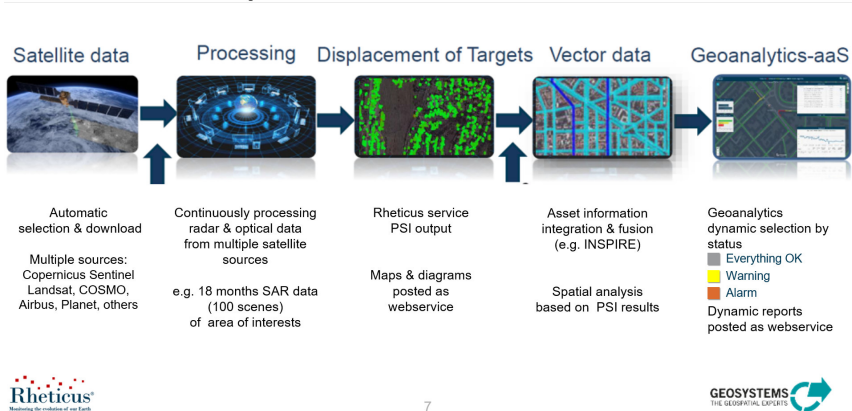


Abbildung 7: Vom Satelliten zum Informations-Dienst (Quelle: Planetek Italia s.r.l.)

Die IT-gestützte Interpretation und Aufbereitung erfolgen im Hintergrund als automatisierte Prozessketten. Je nach Anwendungssegment entstehen hierbei komplexe Prozesse und Verkettungen. Die Verkettung der Einzelschritte bzw. die Modellierung der verschiedenen Workflows erfolgt unter Verwendung von Modellierungswerkzeugen, die in der Lage sind, räumliche und nichträumliche Prozesse und Analysen zu modellieren. (vgl. Abb. 8).

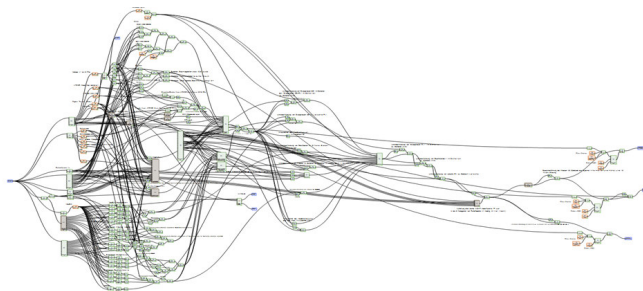


Abbildung 8: Darstellung eines Prozess-Modells (Spatial Modeler)

Die Ergebnisse aus den genannten Schritten liefern kontinuierliche, leicht interpretierbare Information - aufbereitet je nach Nutzung. Aufgrund der nahen „Echtzeit“ und der kontinuierlichen Lieferung der Ergebnisse und Dashboards kann hier von echtem Monitoring gesprochen werden. Das beinhaltet regelmäßige Updates, Vergleich mit Grenzwerten und Generierung von Alarm- bzw. Warnmeldungen beim Überschreiten von gesetzten Werten.

Zusammengefasst wurde beschrieben, durch welche Schritte, Randbedingungen und Technologien sich ein dynamisches Monitoring generieren lässt. Viele einzelne komplexe Berechnungen und Analysen werden (im Hintergrund) automatisiert und verkettet abgearbeitet. Als Ergebnis wird aufbereitete Information geliefert, die einfach zu nutzen und zu interpretieren ist: Monitoring mit Satellitenradar – leicht gemacht!

### 3. Beispiele

#### 3.1. Straßen-Infrastruktur

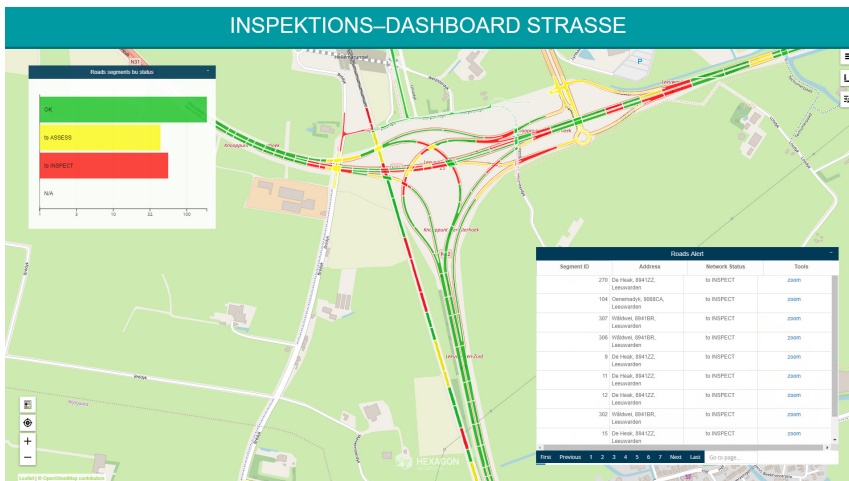


Abbildung 9: Beispiel Straßen-Infrastruktur

Ergebnis-Darstellung von durch Setzung betroffenen Straßensegmenten als Webservice, für den nur ein Webbrowser benötigt wird. Die aufbereiteten Setzungsergebnisse wurden verschnitten mit Straßensegmenten und zur graphischen Darstellung farblich codiert, Dashboard/Ampel-Diagramme erstellt sowie alphanumerische Listendarstellung für die weitere Verarbeitung generiert. Die Interpretation ist umgesetzt als betroffene Straßensegmente. Es erfolgt ein monatliches und automatisches Update.

#### 3.2. Unterirdische Versorgungsleitungen

Die Abb. 10 zeigt ein Luftbild mit farblich codierten Leitungsabschnitten. Diese stellen das automatisch erstellte Ergebnis aus den automatisierten Prozessketten dar. Hierbei wurden Setzungen analysiert und nach Regeln interpretiert, verschnitten und mit Infrastruktur-Information analysiert sowie zur



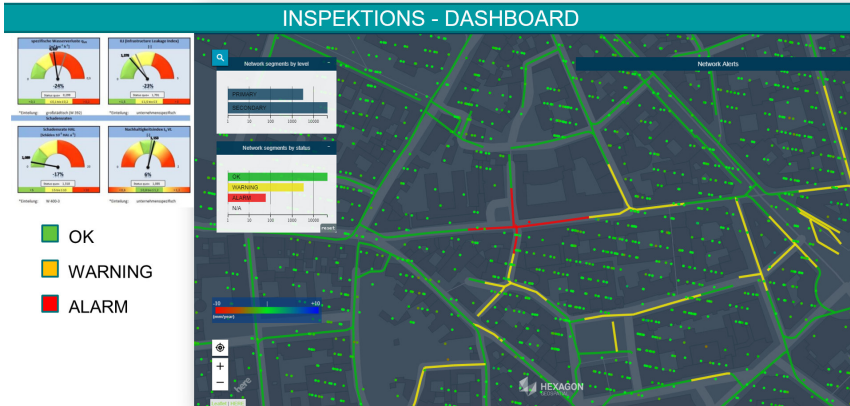


Abbildung 10: Anwendung für Versorgungsstrukturen

einfachen Nutzung und Weiterverarbeitung aufbereitet. Die Farbgebung kennzeichnet die Gefährdung der Leitungen aufgrund von Setzungsanalysen. Der Service wird monatlich oder zwei-wöchentlich „aufgefrischt“.

## Literatur

- BOLLANOS, S., SPASTRA, Y., IOANNOU, I., AVGIKOU, V., LAMANTIA, C., MASSIMI, V., MANUNTA, P., DEPASQUALE, V., ABBATTISTA, C., AMORUSO, L., AGRIMANO, L., SAMARELLI, S. & CASABUR, M. (2018): Rheticus: Geo-Analytics information by subscription, based on fusion of earth observation and INSPIRE data for monitoring critical infrastructure and the environment. Presentation at Fifth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of Environment (RSCY2017) - CYPRUS – March 20 – 23.
- BOVENGA, F., REFICE, A., NUTRICATO, R., GUERRIERO, L. & CHIARADIA, M. T. (2014): SPINUA: A flexible processing chain for ERS/ENVISAT long term interferometry. Proceedings of 2004 ESA-ENVISAT Symposium 1, 1 – 6.
- BOVENGA, F., NUTRICATO, R., REFICE, A. & WASOWKI, J. (2006): Application of Multi-temporal Differential Interferometry to Slope Instability Detection in Urban/Peri-urban Areas. Engineering Geology 88, 218 – 239.
- FERRETTI, A., PRATI, C. & ROCCA, F. (2000): Nonlinear subsidence rate estimation using permanent scatterers in differential SAR interferometry. IEEE TGRS, 38 (5), pp. 2202 – 2212.
- FERRETTI, A., PRATI, C. & ROCCA, F. (2001): Permanent scatterers in SAR interferometry. IEEE TGRS, 39 (1), pp. 8 – 20.
- SAWYER, G., DUBOST, A. (EARSC) & DE VRIES, M. (May 2016): (The Greenland BV) Copernicus Sentinels' Products Economic Value: A Case Study. Pipeline Infrastructure Monitoring in the Netherlands. EARSC European Association of Remote Sensing Companies. Study Report. [http://earsc.org/file\\_download/341/case+report+-+pipeline+infrastructure+in+Netherlands+final.pdf](http://earsc.org/file_download/341/case+report+-+pipeline+infrastructure+in+Netherlands+final.pdf)

## Anhang

### Radarsatelliten-Initiativen:

- ICEYE plant 18 (Micro-)SAR-Satelliten (9 bis Ende 2019) mit einer Wiederholrate von bis zu einer Stunde.  
<https://spacenews.com/qa-iceye-achieves-the-impossible-with-miniature-radar-satellite/>
- XpressSAR plant vier SAR-Satelliten mit einer Wiederholrate von bis zu vier Stunden.  
<http://www.xpressar.com/>.